

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

ББК 38.3
К63
УДК 691

Рецензент

кафедра строительных материалов Московского инженерно-строительного
института им. В. В. Куйбышева (зав. кафедрой — д-р техн. наук,
проф. Г. И. Горчаков)

Комар А. Г.

К63 Строительные материалы и изделия: Учеб. для инж.-
экон. спец. строит. вузов. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.:
Высш. шк., 1988. — 527 с.: ил.
ISBN 5—06—001250—6

В учебнике более широко, чем в предыдущих изданиях (4-е издание вышло в 1983 г.), рассмотрена номенклатура важнейших групп строительных материалов, освещены теоретические основы технологии производства вяжущих материалов, сборных железобетонных, асбестоцементных и керамических материалов, изделий на основе полимеров и др.

Дан сравнительный технико-экономический анализ эффективности производства и применения важнейших материалов и изделий.

К 3203000000 (4309000000) — 225
001(01) — 88 184 — 88

ББК 38.3
6С3

ISBN 5—06—001250—6

© Издательство «Вышая школа», 1976
© Издательство «Вышая школа», 1988,
с изменениями

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий учебник составлен в соответствии с учебной программой курса «Строительные материалы и изделия» для специальности «Экономика и управление в строительстве» высших учебных заведений, утвержденной Учебно-методическим управлением по высшему образованию Минвуза СССР.

В книге даются научные основы строительного материаловедения во взаимосвязи с данными прикладного характера, касающимися технологий производства строительных материалов, изделий и конструкций. Теоретические вопросы излагаются с использованием фундаментальных наук — физики, химии, механики.

Построение учебника обусловлено программой курса и принятой классификацией. Каждая глава объединяет определенную группу материалов, что позволяет выявить общие закономерности формирования их структуры и физико-технических свойств. В учебнике даются сведения об основных направлениях развития отрасли в соответствии с решениями XXVII съезда КПСС. Особое внимание уделено вопросам эффективности и качества строительных материалов, использованию побочных продуктов промышленности, снижению трудовых и топливно-энергетических затрат, показана необходимость применения в индустриальном строительстве крупноразмерных изделий и конструкций, а также объемных элементов полной заводской готовности.

В учебнике вопросы материаловедения и технологии строительных материалов рассматриваются в тесной связи с экономикой их производства и использования с целью развития у студентов и специалистов экономического подхода при изучении столь важной области народного хозяйства, каковой является производство строительных материалов и изделий. Вопросы экономического характера — технико-экономический анализ отдельных технологических схем и пути дальнейшего развития производства строительных материалов — даны в доступной для студентов форме, отвечающей современному состоянию и перспективам развития отдельных отраслей промышленности строительных материалов. Определенный акцент сделан также на методах технико-экономического анализа для определения оптимальных видов строительных материалов, наиболее рациональных в конкретных условиях службы зданий и сооружений.

Настоящее, пятое, издание учебника отличается от предыдущего сведениями о последних достижениях науки и техники. В частности, в книге на современном научном уровне изложена связь внутреннего строения и свойств твердых тел, показано влияние структуры на физико-технические свойства материала. Во всех разделах освещены новые технологии в производстве строительных материалов и изделий и основные направления их совершенствования. Например, в цементной промышленности предусматривается развитие сухого способа производства цемента в печах, оборудованных циклонными теплообменниками.

Промышленность строительных материалов непрерывно развивается, расширяется ассортимент изделий, внедряются новые методы оптимизации технологии, поэтому студентам наряду с работой над учебником следует пользоваться новейшей литературой — монографиями и журналами.

В написании учебника (гл. 6 и 7) принимал участие канд. техн. наук А. А. Комар.

Автор выражает глубокую благодарность коллективу кафедры строительных материалов Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева (зав. кафедрой — д-р техн. наук, проф. Г. И. Горчаков) за ценные замечания, сделанные при рецензировании рукописи.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Значение промышленности строительных материалов в народном хозяйстве нашей страны огромно — от уровня производства их всецело зависят темпы и качество строительных работ.

Динамика роста производства основных строительных материалов и изделий дана в табл. В. 1.

Таблица В.1. Выпуск основных строительных материалов и изделий в СССР с 1940 по 1985 г.

Наименование материалов и изделий	1940 г.	1950 г.	1960 г.	1965 г.	1970 г.	1980 г.	1985 г.
Цемент, млн. т	5,68	10,2	45,5	72,4	95	125	130,8
Кирпич строительный, млрд. шт	7,46	10,2	35,5	36,9	43,2	41,8	41,2
Сборный железобетон и бетон, млн. м ³	—	1,3	30,2	56,1	84,6	122	136,6
Стекло листовое, млн. м ²	44,7	76,9	147,2	190,3	231	245	243
Мягкая кровля, млн. м ²	127,8	285	750	1080	1334	1723	1927
Асбестоцементные листовые материалы, млн. шт. усл. пл.	206	546	2991	4162	5840	7308	8270
Минераловатные изделия, млн. м ³	—	0,7	4,0	8,9	13,2	21,5	22,9
Легкие заполнители для бетона, млн. м ³	—	—	1,1	7,25	16	38	44
Линолеум, млн. м ²	—	—	—	31,2	57,4	93	112,7
Гипсовые перегородочные плиты и детали, млн. м ²	—	0,5	23	27,2	33	28	н. св.
Нерудные строительные материалы, млн. м ³	20	61,6	313	396,9	541,7	970,6	1087

Для быстрого развития производства строительных материалов в послевоенный период исключительно важное значение имели постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР по вопросам строительства и производства строительных материалов. Советский Союз опередил развитые капиталистические страны по выпуску ряда важнейших строительных материалов. Еще в 1962 г. наша страна обогнала США по производству цемента и вышла на первое место в мире по производству

сборного железобетона, асбестоцементных листовых материалов и труб, оконного стекла и др.

XXVII съезд КПСС наметил дальнейшее увеличение производства строительных материалов в двенадцатой пятилетке. Главными направлениями технического прогресса промышленности строительных материалов являются: создание новых и совершенствование существующих технологических процессов, обеспечивающих получение продукции с минимальными затратами энергетических, материальных и трудовых ресурсов; получение новых видов строительных материалов и изделий с заданными свойствами, отвечающими самым высоким требованиям строительства; широкое внедрение малоотходных и безотходных технологий, использование вторичных продуктов производства.

Большие задачи поставлены перед промышленностью строительных материалов Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1985—1990 годы и на период до 2000 года. Намечено увеличить объем продукции этой отрасли, предусмотреть преимущественное развитие производства изделий, обеспечивающих снижение металлоемкости, стоимости и трудоемкости строительства, а также уменьшение массы зданий, сооружений и повышение их теплозащиты, произвести в 1990 г. 140...142 млн. т цемента. Однако применение строительных материалов далеко не ограничивается использованием их только для целей строительства. Без них не может существовать ни одна область техники.

XXVII съезд КПСС обратил внимание на необходимость внедрения гибкой технологии в промышленность строительных материалов, позволяющей быстро и эффективно перестраивать производство на изготовление новой продукции, а также получение материалов с заранее заданными свойствами, широкое применение безотходных и энергосберегающих технологий.

Задачи технического перевооружения отрасли в свете стратегии ускорения социально-экономического развития страны поставлены в решениях пленумов ЦК КПСС 1984—1986 гг.

Решением июньского (1987 г.) Пленума ЦК КПСС намечен ряд исключительно важных мер по социально-экономическому развитию страны, перестройке всего механизма хозяйствования.

Наряду с дальнейшим развитием централизованных начал в управлении для решения задач стратегического характера, осуществляются меры по повышению роли, расширению ответственности и заинтересованности предприятий и объединений, неуклонному и последовательному переводу их на полный хозяйственный расчет и самоокупаемость.

Важным этапом этой работы стало принятие Верховным Советом СССР Закона о государственном предприятии (объединении), проект которого был всенародно обсужден и одобрен на июньском (1987 г.) Пленуме ЦК КПСС. Принятые решения должны обеспечить повышение эффективности и в такой крупной и важной отрасли как промышленность строительных материа-

лов. Это относится в равной мере как к повышению рентабельности и ликвидации убыточных предприятий, так и к более полному учету интересов потребителя, переводу отрасли на выпуск более эффективной для народного хозяйства видов продукции — материалов высокого качества и изделий полной заводской готовности. Должно быть улучшено и управление — в каждом крупном регионе создан комплекс отраслей строительных материалов, обеспечивающих нужды капитального строительства и ремонта, а также потребности населения.

Различные эксплуатационные условия зданий и сооружений, параметры технологических процессов обуславливают разнообразные требования к строительным материалам, а отсюда вытекает и весьма обширная номенклатура их свойств: прочность при нормальной или высокой температуре (последняя характеризует жаро- или огнестойкость материала), водостойкость, стойкость против действия различных солей, кислот и щелочей, шлакостойкость (имеющая особую значимость в металлургических процессах) и т. д. Не менее важна в строительстве и технике проницаемость (или непроницаемость) материалов для жидкостей, газов, тепла, холода, электрического тока, радиоактивных излучений. Наконец, материалы для отделки помещений жилых и общественных зданий, садов и парков должны быть красивыми, долговечными и прочными.

Получить материал с универсальными свойствами пока еще невозможно — это проблема будущего. В технике и строительстве применяются различные материалы, отличающиеся видами исходного сырья и технологическими приемами получения. Эти два условия положены в основу деления строительных материалов на отдельные группы (керамические, лесные, вяжущие материалы, изделия на основе полимеров и т. д.). Показатель специфических свойств строительных материалов также положен в основу их подразделения. Например, минеральные вяжущие вещества разделяются на воздушные и гидравлические вяжущие, а бетоны — на обыкновенные, жароупорные, гидротехнические, декоративные и др.

Важнейшие свойства строительных материалов определяют области их применения. Только глубокое и всестороннее знание свойств материалов позволяет рационально и в техническом, и в экономическом отношении выбрать материал для конкретных условий использования.

На каждый строительный материал имеются ГОСТы или ТУ, в которых даются определение (название) материала, важнейшие свойства и требования, предъявляемые к нему, методы испытаний (установление свойств и их показателей), правила приемки, транспортирования и хранения. Наряду с ГОСТами или ТУ строители пользуются также строительными нормами и правилами (СНиП).

По мере совершенствования технологии и строительного производства повышаются требования к качеству материалов,

расширяется ассортимент их. В связи с этим указанные документы периодически пересматриваются.

Значение стандартизации огромно. Оно определяет выпуск материалов и изделий качеством не ниже обусловленного, что позволяет уже при проектировании создавать надежные и долговечные конструкции независимо от технологии изготовления материалов. Однако значение стандартизации не ограничивается только этим фактором, а является важнейшим стимулом совершенствования промышленных предприятий, каждый новый или пересмотренный стандарт предъявляет более высокие требования к материалам, чем предыдущий. В результате для обеспечения выпуска материалов стандартного качества должна соответствующим образом перестраиваться промышленность.

Таким образом, развитие промышленности строительных материалов происходит не только количественно, но и качественно — с ростом производства традиционных материалов возникает производство новых, более эффективных изделий. Важной задачей является технико-экономическое сопоставление (в заданных конкретных условиях их применения) конкурирующих видов изделий, с тем чтобы обеспечить наиболее экономически эффективным из них преобладающее развитие.

В настоящее время производство многих строительных материалов еще отстает от их потребности в строительстве, и поэтому другой важной задачей является дальнейшее опережающее развитие промышленности строительных материалов, неуклонное снижение себестоимости их изготовления и удельных капитальных вложений.

Себестоимость строительных материалов и конструкций складывается (по статьям калькуляции): из затрат на сырье, основные и вспомогательные материалы с учетом затрат на перевозку их до завода и внутризаводским транспортом; затрат на топливо и электроэнергию, а также другие виды энергетических ресурсов, необходимых для изготовления материалов; заработной платы производственных рабочих с начислениями на социальное страхование и оплату отпусков; цеховых расходов — заработной платы цехового административно-технического персонала и вспомогательных рабочих с начислениями на нее; затрат на отопление, освещение и вентиляцию цеха, на охрану труда, смазочные материалы, возобновление мелкого инвентаря и инструмента, на текущий ремонт оборудования цеха и др; общезаводских расходов — заработной платы общезаводского персонала с начислениями на нее; затрат на отопление, освещение и вентиляцию общезаводских зданий, например заводоуправления, гаража, затрат на текущий ремонт этих зданий и сооружений и оборудования в них.

В состав цеховых и общезаводских расходов входят также соответствующие амортизационные затраты по основным фондам (машины, механизмы, здания, сооружения, силовое и производственное оборудование, транспортные средства и др.). Часть

их необходима для периодически производимого капитального ремонта оборудования и зданий, без чего они не смогут проработать весь установленный для них срок службы, а другая часть — как отчисления на полное восстановление. Эти отчисления необходимы для того, чтобы к окончанию срока службы здания или оборудования накопить сумму, необходимую для возмещения его первоначальной стоимости.

Каждое из слагаемых себестоимости может быть существенно уменьшено. Наиболее значительное снижение себестоимости достигается при увеличении мощности завода. Так, при увеличении мощности завода крупнопанельного домостроения с 35 до 140 тыс. м² жилой площади в год себестоимость продукции снижается на 10%, а при увеличении мощности завода, выпускающего мягкие кровельные материалы (толь, рубероид), — с 25 до 125 млн. м², примерно на 15...20%.

Значительное снижение себестоимости сырья достигается использованием в качестве сырья отходов других производств, например металлургических или топливных шлаков, высокой механизацией добычи и транспортирования сырья, приближением промышленных предприятий к источникам получения сырьевых материалов.

Снижение затрат на топливо и энергию может дать значительный экономический эффект, так как тепловая обработка полуфабриката является неотъемлемой частью производства многих строительных материалов. Этого снижения достигают строгим поддержанием заданной технологии сушки, обжига, автоклавной обработки и других тепловых процессов; использованием отработанного тепла для отопления, горячего водоснабжения и других цеховых нужд и применением новых методов обработки полуфабрикатов, обеспечивающих экономию топлива и электроэнергии.

Снижение относительной величины заработной платы производственных рабочих на единицу продукции (при росте средней заработной платы на одного рабочего) достигается механизацией и автоматизацией технологических процессов производства строительных материалов. Уменьшения цеховых и общезаводских расходов добиваются путем возможного сокращения штата цехового и общезаводского административно-технического и обслуживающего персонала и улучшения качества проводимых ремонтов.

Существенным резервом снижения себестоимости продукции является устранение брака.

Поскольку амортизационные отчисления составляют определенную часть от капиталовложений, уменьшение их относительной величины возможно только за счет снижения последних на основе сокращения удельных капитальных вложений и улучшения использования основных производственных фондов.

Величина удельных капиталовложений, т. е. затрат на создание единицы прироста производственных мощностей или вы-

пуска продукции, зависит прежде всего от мощности завода. Так, при увеличении мощности завода крупнопанельного домостроения с 35 до 140 тыс. м² площади в год удельные капитальные вложения уменьшаются почти на 40%, а увеличение мощности завода оконного стекла с 4...6 до 26...30 млн. м² обеспечивает снижение их примерно на 20...25%. Это происходит в основном за счет сокращения удельных затрат на склады сырья и готовых материалов, транспортные связи, инженерные коммуникации (водопровод, канализацию, теплопроводы, электрохозяйство и др.), вспомогательные цехи, гаражи, котельную и планировку территории. С возрастанием единичной мощности оборудования значительно снижаются удельная его стоимость и удельная кубатура соответствующего цеха.

Важным фактором уменьшения удельных капиталовложений является специализация производства, в результате которой сокращается число выпускаемых типоразмеров изделий, растет выпуск продукции, приходящейся на 1 руб. производственных основных фондов, и снижается себестоимость этих изделий. Специализация завода дает возможность осуществить изготовление соответствующего материала или изделия по прогрессивным технологическим схемам. Во многих случаях при этом приходится выбирать наиболее целесообразную из нескольких возможных технологических схем, обеспечивающих наименьшую величину издержек производства.

Критерием экономической эффективности развития производства строительных материалов и конструкций является степень снижения затрат общественного труда, имеющих место при их изготовлении, транспортировании и возведении из них зданий или сооружений. Однако общественный труд затрачивается и при эксплуатации зданий и сооружений (ремонт, отопление и т. д.). Учет затрат труда на стадии эксплуатации обычно делают лишь в тех случаях, когда они на этой стадии существенно различны по величине.

Непосредственное определение затрат общественного труда является в настоящее время весьма сложным, поэтому их исчисляют косвенно в денежной форме как сумму капитальных затрат на организацию производства строительного материала (создание соответствующей сырьевой базы и возведение завода или цеха, на котором его будут вырабатывать) и себестоимости этого материала.

Промышленные предприятия, в том числе заводы строительных материалов, должны приносить прибыль, которая в течение ряда лет окупит затраты, ранее сделанные на организацию производства материалов. В настоящее время нормативный срок окупаемости капитальных вложений принят равным 8,3 года, и, следовательно, в каждый год должно окупаться примерно 12% произведенных капитальных вложений в производство. Поэтому при экономическом сопоставлении различных материалов следует складывать себестоимость (С) их годовой продук-

ции на заводе и 12% от капиталовложений (К) в заводы. Такая сумма называется приведенными затратами (П) и выражается формулой $P = C + 0,12 K$ (руб.). Более целесообразным (при принятых значениях С и К) будет тот материал, для которого величина П минимальна.

Важным вопросом при определении экономической эффективности мероприятий по внедрению новой техники является выбор базы сравнения. На различных этапах освоения новых материалов выбор исходной базы будет различен. Так, на предпроектной и проектной стадиях, когда решается вопрос, должно ли внедряться данное мероприятие и насколько оно прогрессивно, принимаются лучшие отечественные и зарубежные образцы.

После внедрения опытного образца и получения уточненных эксплуатационных показателей расчет экономической эффективности осуществляется в сравнении с заменяемой техникой или наиболее часто применяемым в отрасли образцом (для расчета реального эффекта, получаемого народным хозяйством).

Если при использовании сопоставляемых материалов имеет место различная стоимость строительно-монтажных работ (например, монтаж стеновых панелей или кладка стен из кирпича), то в величину приведенных затрат в соответствии с действующими методами вводят затраты на производство строительных работ, а также величину капиталовложений строительно-монтажной организации на машины, механизмы и приспособления, необходимые для выполнения этих работ.

При различных затратах на эксплуатацию возведенной из сопоставляемых материалов конструкции приведенные затраты определяются с учетом эксплуатационных издержек.

Снижения затрат на эксплуатацию конструкции добиваются путем улучшения качества соответствующих строительных материалов или изделий. Так, качество стеновых панелей определяет размер затрат на их ремонт и величину потерь через них тепла из помещений. Чтобы здания и сооружения имели оптимальные технические и экономические показатели и были эффективны в технико-экономическом отношении, экономисты-строители должны располагать широкими знаниями номенклатуры строительных материалов и оптимальных условий их применения исходя из важнейших свойств материалов и иметь достаточные представления о технологии изготовления строительных материалов. Задачей экономиста-строителя является овладение не только знаниями в области технологии изготовления строительных материалов, но и наиболее целесообразными направлениями развития предприятий строительной индустрии.

Овладев комплексом этих знаний, инженер-экономист, специализирующийся в области строительства, становится активным участником в совершенствовании строительного производства и технологии производства строительных материалов.

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Свойства строительных материалов определяют области их применения. Только при правильной оценке качества материалов, т. е. их важнейших свойств, могут быть получены прочные и долговечные строительные конструкции зданий и сооружений высокой технико-экономической эффективности.

Все свойства строительных материалов по совокупности признаков подразделяют на физические, химические, механические и технологические.

- **К физическим свойствам** относятся весовые характеристики материала, его плотность, проницаемость для жидкостей, газов, тепла, радиоактивных излучений, а также способность материала сопротивляться агрессивному действию внешней эксплуатационной среды. Последнее характеризует стойкость материала, обуславливающую в конечном итоге сохранность строительных конструкций.

- **Химические свойства** оцениваются показателями стойкости материала при действии кислот, щелочей, растворов солей, вызывающих обменные реакции в материале и разрушение его.

- **Механические свойства** характеризуются способностью материала сопротивляться сжатию, растяжению, удару, вдавливанию в него постороннего тела и другим видам воздействий на материал с приложением силы.

- **Технологические свойства** — способность материала подвергаться обработке при изготовлении из него изделий. Эти свойства рассматриваются в соответствующих разделах курса применительно к конкретному материалу.

§ 1.1. Свойства, строение и состав строительных материалов

- **Свойства строительного материала** определяются его **структурой**. Для получения материала заданных свойств следует создать его внутреннюю структуру, обеспечивающую необходимые технические характеристики. В конечном итоге знание свойств материалов необходимо для наиболее эффективного его использования в конкретных условиях эксплуатации.

- **Структуру строительного материала** изучают на **трех уровнях**: **макроструктура** — строение материала, видимое невооруженным глазом; **микроструктура** — строение, видимое через микроскоп; **внутреннее строение** вещества, изучаемое на молекулярно-ионном уровне (физико-химические методы исследования — элек-

тронная микроскопия, термография, рентгеноструктурный анализ и др.).

Макроструктуру твердых строительных материалов (исключая горные породы, имеющие свою геологическую классификацию) делят на следующие группы: конгломератная, ячеистая, мелкопористая, волокнистая, слоистая и рыхлозернистая (поршкообразная). *Искусственные конгломераты* представляют собой большую группу; это различного вида бетоны, керамические и другие материалы. *Ячеистая структура* материала отличается наличием макропор; она свойственна газо- и пенобетонам, газосиликатам и др. *Мелкопористая структура* характерна, например, для керамических материалов, получаемых в результате выгорания введенных органических веществ. *Волокнистая структура* присуща древесине, изделиям из минеральной ваты и др. *Слоистая структура* характерна для листовых, плитных и рулонных материалов. *Рыхлозернистые материалы* — это заполнители для бетонов, растворов, различного вида засыпка для теплозвукоизоляции и др.

Микроструктура строительных материалов может быть кристаллическая и аморфная. Эти формы нередко являются лишь различными состояниями одного и того же вещества, например кварц и различные формы кремнезема. *Кристаллическая форма* всегда устойчива. Чтобы вызвать химическое взаимодействие между кварцевым песком и известью в производстве силикатного кирпича, применяют автоклавную обработку сырца насыщенным водяным паром с температурой 175°C и давлением 0,8 МПа, в то же время трепел (амфорная форма диоксида кремнезема) с известью при затворении водой образует гидросиликат кальция при нормальной температуре 15...25°C. *Амфорная форма* вещества может перейти в более устойчивую кристаллическую.

Для каменных материалов практическое значение имеет явление *полиморфизма*, когда одно и то же вещество способно существовать в различных кристаллических формах, называемых модификациями. Полиморфные превращения кварца сопровождаются изменением объема. Для кристаллического вещества характерны определенная температура плавления и геометрическая форма кристаллов каждой модификации. Свойства монокристаллов в разных направлениях неодинаковы. Теплопроводность, прочность, электропроводность, скорость растворения и явления анизотропии являются следствием особенностей внутреннего строения кристаллов. В строительстве применяют поликристаллические каменные материалы, в которых разные кристаллы ориентированы хаотично. Эти материалы по своим свойствам относятся к изотропным, исключение составляют слоистые каменные материалы (гнейсы, сланцы и др.).

Внутренняя структура материала определяет его механическую прочность, твердость, теплопроводность и другие важные свойства.

Кристаллические вещества, входящие в состав строительного

материала, различают по характеру связи между частицами, образующими кристаллическую решетку. Она может быть образована: нейтральными атомами (одного и того же элемента, как в алмазе, или разных элементов, как в SiO_2); ионами (разноименно заряженными, как в кальците CaCO_3 , или одноименными, как в металлах); целыми молекулами (кристаллы льда).

Ковалентная связь, обычно осуществляемая электронной парой, образуется в кристаллах простых веществ (алмазе, графите) или в кристаллах, состоящих из двух элементов (кварце, карборунде). Такие материалы отличаются высокой прочностью и твердостью, они весьма тугоплавки.

Ионные связи образуются в кристаллах материалов, где связь имеет в основном ионный характер, например гипс, ангидрид. Они имеют невысокую прочность, не водостойки.

В относительно сложных кристаллах (кальците, полевых шпатах) имеют место и ковалентная и ионная связи. Например, в кальците внутри сложного иона CO_3^{2-} связь ковалентная, но с ионами Ca^{2+} — ионная. Кальцит CaCO_3 обладает высокой прочностью, но малой твердостью, полевые шпаты имеют высокие прочность и твердость.

Молекулярные связи образуются в кристаллах тех веществ, в молекулах которых связи являются ковалентными. Кристалл этих веществ построен из целых молекул, которые удерживаются друг около друга относительно слабыми ван-дер-ваальсовыми силами межмолекулярного притяжения (кристаллы льда), имеющими низкую температуру плавления.

Силикаты имеют сложную структуру. Волокнистые минералы (асбест) состоят из параллельных силикатных цепей, связанных между собой положительными ионами, расположенными между цепями. Ионные силы слабее ковалентных связей внутри каждой цепи, поэтому механические силы, недостаточные для разрыва цепей, расчленяют такой материал на волокна.

Пластинчатые минералы (слюда, каолинит) состоят из силикатных групп, связанных в плоские сетки. Сложные силикатные структуры построены из тетраэдров SiO_4 , связанных между собой общими вершинами (атомами кислорода) и образующих объемную решетку, поэтому их рассматривают как неорганические полимеры.

● **Строительный материал характеризуется химическим, минеральным и фазовым составом.** *Химический состав* строительных материалов позволяет судить о ряде свойств материала — механических, огнестойкости, биостойкости, а также других технических характеристиках. Химический состав неорганических вяжущих материалов (извести, цемента и др.) и естественных каменных материалов удобно выражать содержанием в них оксидов (%). Основные и кислотные оксиды химически связаны и образуют минералы, которые характеризуют многие свойства материала. *Минеральный состав* показывает, каких минералов и в каком количестве содержится в данном материале, например

В портландцементе содержание трехкальциевого силиката ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) составляет 45...60 %, причем при большем содержании этого минерала ускоряется процесс твердения и повышается прочность. *Фазовый состав* и фазовые переходы воды, находящейся в его порах, оказывают большое влияние на свойства материала. В материале выделяют твердые вещества, образующие стенки пор, т. е. каркас и поры, наполненные воздухом или водой. Изменение содержания воды и ее состояния меняет свойства материала.

§ 1.2. Физические свойства и структурные характеристики

- Под истинной плотностью (кг/м^3) понимают массу единицы объема абсолютно плотного материала:

$$\rho = m_1/V_1,$$

где m_1 — масса материала, кг; V_1 — объем материала в плотном состоянии, м^3 .

Значения истинной плотности некоторых строительных материалов приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Истинная плотность строительных материалов

Наименование материала	Истинная плотность, кг/м^3	Наименование материала	Истинная плотность, кг/м^3
Сталь	7800...7900	Кирпич керамический	2500...2800
Портландцемент	2900...3100	Стекло	2500...3000
Гранит	2700...2800	Известняк	2400...2600
Песок кварцевый	2600...2700	Древесина	1500...1600

- Под средней плотностью* ρ_0 (кг/м^3) понимают массу единицы объема материала (изделия) в естественном состоянии (с пустотами и порами):

$$\rho_0 = m_1/V_1,$$

где m_1 — масса материала, кг; V_1 — объем материала, м^3 .

Средняя плотность одного и того же вида материала может быть разной в зависимости от пористости и пустотности.

- Сыпучие материалы (песок, щебень, цемент и др.) характеризуются насыпной плотностью — отношением массы зернистых и порошкообразных материалов ко всему занимаемому ими объему, включая и пространство между частицами. От плотности материала в значительной мере зависят его технические свойства, например прочность, теплопроводность. Этими данными

* В дальнейшем вместо термина «средняя плотность» применен термин «плотность».

пользуются при определении толщины ограждающих конструкций отапливаемых зданий, размера строительных конструкций, расчетах транспортных средств, подъемно-транспортного оборудования и др. Значения средней плотности строительных материалов находятся в широких пределах (табл. 1.2).

Плотность зависит от пористости и влажности материала. С увеличением влажности плотность материала увеличивается. Показатель плотности является характерным и для оценки экономичности.

Таблица 1.2. Средняя плотность некоторых строительных материалов

Наименование материала	Средняя плотность, кг/м^3	Наименование материала	Средняя плотность, кг/м^3
Сталь	7800...7850	Бетон легкий	500...1800
Гранит	2600...2800	Керамзит	300...900
Бетон тяжелый	1800...2500	Сосна	500...600
Кирпич керамический	1600...1800	Минеральная вата	200...400
Песок	1450...1650	Поропласт	20...100
Вода	1000		

- Пористостью (%) материала называют степень заполнения его объема порами:

$$P = (1 - \rho_0/\rho) 100,$$

где ρ_0 — объемная плотность материала, кг/м^3 ; ρ — плотность абсолютно плотного материала, кг/м^3 .

Поры — это мелкие ячейки в материале, заполненные воздухом или водой. Поры бывают открытые и закрытые, мелкие и крупные. Мелкие поры, заполненные воздухом, придают строительным материалам теплоизоляционные свойства. По величине пористости можно приблизительно судить о других важных свойствах материала: плотности, прочности, водопоглощении, долговечности и др. Для конструкций, от которых требуется высокая прочность или водонепроницаемость, применяют плотные материалы, а для стен зданий — материалы со значительной пористостью, обладающие хорошими теплоизоляционными свойствами.

Открытая пористость равна отношению суммарного объема всех пор, насыщающихся водой, к общему объему материала:

$$P_0 = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}},$$

где m_1 и m_2 — масса образца в сухом и насыщенном водой состоянии.

Открытые поры сообщаются с окружающей средой и могут сообщаться между собой, они заполняются водой при погружении в ванну с водой.

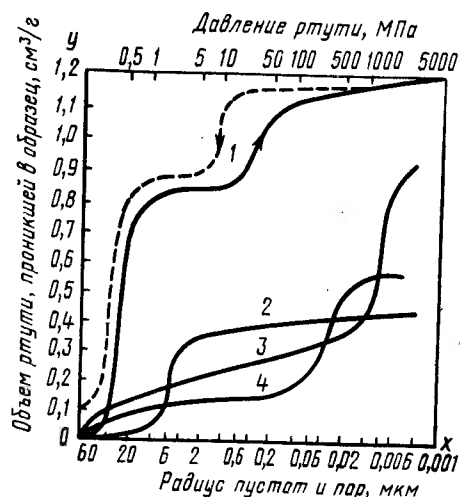


Рис. 1.1. Интегральные кривые распределения пор по радиусам (пунктиром показана кривая гистерезиса)

мер и объем пор каждой величины и оценить форму их. Ртуть не смачивает поры большинства строительных материалов и проникает в них при повышенном давлении, что следует из уравнения

$$Pd = -4\sigma \cos \theta,$$

где P — прилагаемое давление; d — диаметр пор; σ — поверхностное натяжение ртути; θ — краевой угол смачивания ртути и испытываемого материала.

Из уравнения видно, что при нулевом давлении несмачивающая жидкость не будет проникать в поры. На рис. 1.3 приведено соотношение между давлением и диаметром пор.

На рис. 1.1 показаны интегральные кривые распределения пор по их размерам для четырех различных материалов. По оси x отложены радиусы пор, а по оси y — объем пор данного размера (он равен объему ртути, проникшей в образец). Кривая 1 характерна для материалов с большим объемом крупных пустот (более 10 мкм). Пунктиром показана кривая гистерезиса. Кривая 2 получена для порошка с большим объемом пустот (4...6 мкм) между зернами. Кривая 3 характерна для материала с мелкой пористостью, а кривая 4 — для материала с однородной структурой и порами 0,02...0,04 мкм.

Дифференциальная кривая распределения объема пор V по их размерам (см. рис. 1.2)

$$dV/dr = fV(r),$$

где dV/dr — тангенс угла наклона касательной к интегральной кривой.

В материале обычно имеются открытые и закрытые поры. В звукопоглощающих материалах специально создаются открытая пористость и перфорация для большего поглощения звуковой энергии.

Закрытая пористость по размерам и распределению пор характеризуется: а) интегральной кривой распределения объема пор по их радиусам в единице объема (рис. 1.1) и б) дифференциальной кривой распределения объема пор по их радиусам (рис. 1.2).

Пористость, полученная с помощью ртутного поромера, позволяет определить размер и объем пор каждой величины и оценить форму их. Ртуть не смачивает поры большинства строительных материалов и проникает в них при повышенном давлении, что следует из уравнения

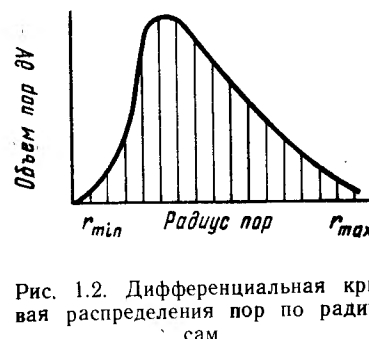


Рис. 1.2. Дифференциальная кривая распределения пор по радиусам

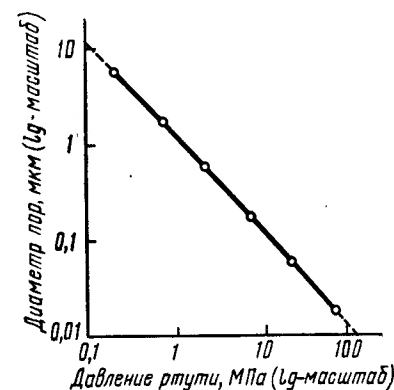


Рис. 1.3. График зависимости между давлением ртути (в поромере) и размером пор

Площадь под дифференциальной кривой (заштрихована на рис. 1.2) равна суммарному объему пор в единице объема материала.

Удельную поверхность порового пространства определяют, используя средний условный радиус пор или адсорбционными методами (по адсорбции водяного пара, азота или другого инертного газа).

● Удельная поверхность ($\text{см}^2/\text{г}$) пропорциональна массе адсорбированного водяного пара (газа), необходимой для покрытия мономолекулярным слоем всей внутренней поверхности пор (в 1 г на 1 г сухого материала):

$$a = a_1 N_A m_1 / m_2,$$

где a_1 — поверхность, покрываемая одной адсорбированной молекулой, для молекулы воды $a_1 = 10,6 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$; N_A — число Авогадро, $N_A = 6,06 \cdot 10^{23}$; m_1 — масса и m_2 — молекулярная масса адсорбированного водяного пара (газа).

Свойства строительного материала определяются его составом, структурой и прежде всего значением и характером пористости.

● Пустотность — количество пустот, образующихся между зернами рыхлонасыпанного материала (песка, щебня и т. п.) или имеющихся в некоторых изделиях, например в пустотелом кирпиче, панелях из железобетона. Пустотность песка и щебня составляет 35...45%, пустотелого кирпича — 15...50%.

● Водопроницаемость — способность материала поглощать воду при увлажнении и отдавать ее при высушивании. Насыщение материала водой может происходить при действии на него воды в жидком состоянии или в виде пара. В связи с этим соответственно различают два свойства материала: гигроскопичность и водопоглощение.

● **Гигроскопичность** — свойство материала поглощать водяные пары из воздуха и удерживать их вследствие капиллярной конденсации. Она зависит от температуры воздуха, его относительной влажности, вида, количества и размера пор, а также от природы вещества. Одни материалы энергично притягивают своей поверхностью молекулы воды, и их называют гидрофильными, другие отталкивают воду, и их относят к гидрофобным. Отдельные гидрофильные материалы способны растворяться в воде, тогда как гидрофобные стойко сопротивляются действию водной среды. При прочих равных условиях гигроскопичность материала зависит от его природы, величины поверхности, структуры (поры и капилляры). Материалы с одинаковой пористостью, но имеющие более мелкие поры и капилляры, оказываются более гигроскопичными, чем крупнопористые материалы.

● **Водопоглощение** — способность материала впитывать и удерживать воду. Характеризуется оно количеством воды, поглощаемой сухим материалом, погруженным полностью в воду, и выражается в процентах от массы. Водопоглощение (% по массе)

$$w_m = [(m_2 - m_1)/m_1] 100,$$

или водопоглощение (кг/м³ по объему)

$$w_v = (m_2 - m_1)/V,$$

где m_2 — масса материала в насыщенном водой состоянии, кг; m_1 — масса материала в сухом состоянии, кг; V — объем материала в естественном состоянии, м³.

Водопоглощение всегда меньше истинной пористости, так как часть пор оказывается закрытой, не сообщаемой с окружающей средой и недоступной для воды. Объемное водопоглощение всегда меньше 100%, а водопоглощение по массе у очень пористых материалов может быть более 100%.

Водопоглощение строительных материалов изменяется главным образом в зависимости от объема пор, их вида и размеров. Влияют на величину водопоглощения и природа вещества, степень гидрофильности его.

В результате насыщения водой свойства материалов значительно изменяются: увеличиваются плотность и теплопроводность, а в некоторых материалах (древесине, глине) увеличивается объем (они разбухают), понижается прочность вследствие нарушения связей между частицами материала проникающими молекулами воды.

Отношение предела прочности при сжатии материала, насыщенного водой, $R_{нас}$ к пределу прочности при сжатии материала в сухом состоянии $R_{сух}$ называется *коэффициентом размягчения*:

$$k_{разм} = R_{нас}/R_{сух}.$$

Этот коэффициент характеризует водостойкость материала. Для легкоразмокаемых материалов (глина) $k_{разм} = 0$, для материалов (металл, стекло), которые полностью сохраняют свою

прочность при действии воды, $k_{разм} = 1$. Материалы с $k_{разм} \geq 0,8$ относят к водостойким; материалы с $k_{разм} < 0,8$ в местах, подверженных систематическому увлажнению, применять не разрешается.

● **Влагоотдача** — способность материала отдавать влагу. Материалы, находясь на воздухе, сохраняют свою влажность только при условии определенной, так называемой равновесной относительной влажности воздуха. Если же последняя оказывается ниже этой равновесной влажности, то материал начинает отдавать влагу в окружающую среду (высушиваться). Скорость влагоотдачи зависит, во-первых, от разности между влажностью материала и относительной влажностью воздуха — чем она больше, тем интенсивнее происходит высушивание; во-вторых, на влагоотдачу влияют свойства самого материала, характер его пористости, природа вещества. Материалы с крупными порами и гидрофобные легче отдают воду, чем мелкопористые и гидрофильные.

В естественных условиях влагоотдача строительных материалов характеризуется интенсивностью потери влаги при относительной влажности воздуха 60% и температуре 20°C.

В воздухе в естественных условиях всегда содержится влага. Поэтому влажный материал высушивается при этих условиях не полностью, а только до влажности, называемой равновесной. Состояние материала при этом является воздушно-сухим. Древесина в комнатных условиях, где относительная влажность не превышает 60%, имеет влажность 8...10%, наружные стены зданий — 4...6%. С изменением относительной влажности воздуха изменяется и влажность материалов (если последние гидрофильные).

● **Воздухостойкость** — способность материала длительно выдерживать многократное систематическое увлажнение и высушивание без значительных деформаций и потери механической прочности. Материалы по-разному ведут себя по отношению к действию переменной влажности: разбухают при увлажнении, дают усадку при последующем высыхании, иногда возникает и коробление материала. Систематическое увлажнение и высушивание вызывают знакопеременные напряжения в материале строительных конструкций и со временем приводят к потере ими несущей способности (разрушению). Бетон в таких условиях склонен к разрушению, так как при высыхании цементный камень сжимается, а заполнитель практически не реагирует; в результате в цементном камне возникают растягивающие напряжения, он сжимается и отрывается от заполнителя. Древесина при изменении влажности подвергается знакопеременным деформациям. Повысить воздухостойкость материалов можно путем введения гидрофобных добавок, придающих материалу водоотталкивающие свойства.

● **Водопроницаемость** — способность материала пропускать воду под давлением. Водопроницаемость характеризуется коли-

чеством воды, прошедшей в течение 1 ч через 1 м² площади испытуемого материала при давлении 1 МПа. Плотные материалы (сталь, стекло, битум, большинство пластмасс) водонепроницаемы.

● **Морозостойкость** — способность насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и значительного снижения прочности. Систематические наблюдения показали, что многие материалы в условиях попеременного насыщения водой и замораживания постепенно разрушаются. Разрушение происходит в связи с тем, что вода, находящаяся в порах материала, при замерзании увеличивается в объеме примерно до 9%. Наибольшее расширение воды при переходе в лед наблюдается при температуре —4°С; дальнейшее понижение температуры не вызывает увеличения объема льда. При заполнении пор водой и ее замерзании стенки пор начинают испытывать значительные напряжения и могут разрушаться. Определение степени морозостойкости материала производят путем замораживания насыщенного водой образцов при температуре от —15 до —17°С и последующего их оттаивания. Такую низкую температуру опыта принимают по той причине, что вода в тонких капиллярах замерзает только при —10°С.

Морозостойкость материала зависит от плотности и степени насыщения водой их пор. Плотные материалы морозостойки. Из пористых материалов морозостойкостью обладают только такие, у которых имеются в основном закрытые поры или вода занимает менее 90% объема пор. Материал считают морозостойким, если после установленного числа циклов замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии прочность его снизилась не более чем на 15%, а потери в массе в результате выкрашивания не превышали 5%. Если образцы после замораживания не имеют следов разрушения, то степень морозостойкости устанавливают по коэффициенту морозостойкости

$$k_F = R_F / R_a,$$

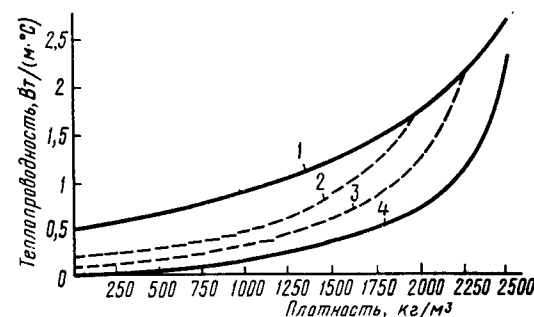
где R_F — предел прочности при сжатии материала после испытания на морозостойкость, Па; R_a — предел прочности при сжатии водонасыщенного материала, Па.

Для морозостойких материалов k_F не должен быть менее 0,75. По числу выдерживаемых циклов попеременного замораживания и оттаивания (степени морозостойкости) материалы имеют марки F 10, 15; 25, 35, 50, 100, 150, 200 и более.

В лабораторных условиях замораживание образцов производят в холодильных камерах. Один — два цикла замораживания в камере дают эффект, близкий к (3...5)-годовичному действию атмосферы. Существует также ускоренный метод испытания, по которому образцы погружают в насыщенный раствор сернокислого натрия и затем высушивают при температуре

Рис. 1.4. Зависимость теплопроводности неорганических материалов от плотности:

1 — материалы, насыщенные водой; 2, 3 — воздушно-сухие материалы с разной влажностью; 4 — сухие материалы



100...110°С. Образующиеся при этом в порах камня кристаллы десятиводного сульфата натрия (со значительным увеличением объема) давят на стенки пор еще сильнее, чем вода при замерзании. Такое испытание является особо жестким. Один цикл испытания в растворе сернокислого натрия приравняется к 5...10 и даже 20 циклам прямых испытаний замораживанием.

Теплопроводность — свойство материала пропускать тепло через свою толщину. Теплопроводность материала оценивают количеством тепла, проходящим через образец материала толщиной 1 м, площадью 1 м² за 1 ч при разности температур на противоположных плоскопараллельных поверхностях образца в 1°С. Теплопроводность материала зависит от многих факторов: природы материала, его структуры, степени пористости, характера пор, влажности и средней температуры, при которой происходит передача тепла. Материалы с закрытыми порами менее теплопроводны, нежели материалы с сообщающимися порами. Мелкопористые материалы имеют меньшую теплопроводность, чем крупнопористые. Это объясняется тем, что в крупных и сообщающихся порах возникает движение воздуха, сопровождающееся переносом тепла. Теплопроводность однородного материала зависит от плотности (рис. 1.4). Так, с уменьшением плотности материала теплопроводность уменьшается, и наоборот. Общей зависимости между плотностью материала и теплопроводностью не установлено, однако для некоторых материалов, имеющих влажность 1...7% по объему, такая зависимость наблюдается.

На теплопроводность значительное влияние оказывает влажность. Влажные материалы более теплопроводны, нежели сухие. Объясняется это тем, что теплопроводность воды в 25 раз выше теплопроводности воздуха. В табл. 1.3 приведена теплопроводность некоторых строительных материалов.

Теплопроводность характеризует теплофизические свойства материалов, определяя их принадлежность к классу теплоизоляционных (А — до 0,082; Б — 0,082...0,116 и т. д.), конструктивно-теплоизоляционных и конструктивных (более 0,210).

Теплопроводность материала можно также характеризовать

Таблица 1.3. Теплопроводность некоторых строительных материалов

Наименование материала	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Наименование материала	Теплопроводность, Вт/(м·°С)
Сталь	58	Вода	0,59
Гранит	2,9...3,3	Бетон легкий	0,35...0,8
Тяжелый бетон	1,0...1,6	Бетон теплоизолирующий	0,08...0,3
Кирпич керамический обыкновенный	0,8...0,9	Газостекло	0,06...0,08

термическим сопротивлением ($R = 1/\lambda$) — величиной, обратной теплопроводности.

Теплопроводность имеет очень важное значение для материалов, используемых в качестве стен и перекрытий отапливаемых зданий, для изоляции холодильников и различных тепловых агрегатов (котлов, теплосетей и т. п.). От величины теплопроводности непосредственно зависят затраты на отопление зданий, что особенно важно при оценке экономической эффективности ограждающих конструкций жилых домов и др.

- Термическое сопротивление слоя однослойной (однородной) ограждающей конструкции или многослойной ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R = \delta/\lambda,$$

где δ — толщина слоя, м; λ — теплопроводность слоя материала, Вт/(м·°С).

Термическое сопротивление — важная характеристика наружных ограждающих конструкций; от нее зависят толщина наружных стен и затраты на отопление зданий.

- Теплоемкость — свойство материала поглощать при нагревании тепло. Характеризуется теплоемкость удельной теплоемкостью. Удельная теплоемкость c [Дж/(кг·°С)] представляет собой количество тепла, необходимое для нагревания 1 кг материала на 1°С:

$$c = Q/[m(t_2 - t_1)],$$

где Q — количество тепла, затраченное на нагревание материала от t_1 до t_2 , Дж; m — масса материала, кг.

Удельная теплоемкость [Дж/(кг·°С)] стали составляет 460, каменных материалов — 755...925; тяжелого бетона — 800...900; лесных материалов — 2380...2720. Теплоемкость материала имеет важное значение в тех случаях, когда необходимо учитывать аккумуляцию тепла, например при расчете теплоустойчивости стен и перекрытий отапливаемых зданий, с целью сохранения температуры в помещении без резких колебаний при изменении теплового режима, при расчете подогрева материала для зимних бетонных работ, при расчете печей и т. д.

- Огнестойкость — способность материала выдерживать действие высокой температуры без потери несущей способности (большого снижения прочности и значительных деформаций). Это свойство важно при пожарах, а так как в процессе тушения пожаров применяют воду, то при оценке степени огнестойкости материала действие высокой температуры сочетают с действием воды.

Строительные материалы по огнестойкости делят на несгораемые, трудносгораемые и сгораемые. Несгораемые материалы под воздействием высокой температуры или огня не тлеют и не обугливаются (природные и искусственные неорганические материалы, металлы). Однако одни из этих материалов под воздействием высокой температуры не растрескиваются и не деформируются, например керамический кирпич, а другие, в частности сталь, подвержены значительным деформациям. Поэтому стальные конструкции не могут быть отнесены к огнестойким. Трудносгораемые материалы под воздействием огня или высоких температур обугливаются, тлеют или с трудом воспламеняются, но продолжают гореть или тлеть только при наличии огня (древесина, пропитанная огнезащитными составами). Сгораемые материалы горят и тлеют под воздействием огня или высоких температур и продолжают гореть после устранения огня (все органические материалы, не подвергнутые пропитке огнезащитными составами).

- Огнеупорность — свойство материала противостоять длительному воздействию высоких температур не деформируясь и не расплавляясь. Материалы по степени огнеупорности подразделяют на огнеупорные, тугоплавкие и легкоплавкие. К огнеупорным относят материалы, выдерживающие продолжительное воздействие температуры от 1580°С и выше. Тугоплавкие выдерживают температуру 1350...1580°С, а легкоплавкие имеют огнеупорность ниже 1350°С.

- Термическая стойкость материала характеризуется его способностью выдерживать определенное количество циклов резких тепловых изменений без разрушения. Термическая стойкость зависит от степени однородности материала, температурного коэффициента расширения составляющих его частей. Чем меньше коэффициент температурного расширения, тем выше термическая стойкость материала. К термически нестойким материалам можно отнести стекло, гранит.

- Радиационная стойкость — свойство материала сохранять свою структуру и физико-механические характеристики после воздействия ионизирующих излучений. Развитие атомной энергетики и широкое использование источников ионизирующих излучений в различных отраслях народного хозяйства вызывают необходимость оценки радиационной стойкости и защитных свойств материалов. Уровни радиации вокруг современных источников ионизирующих излучений настолько велики, что может произойти глубокое изменение структуры материала. Поток ра-

диоактивного излучения при встрече с конструкциями из данного материала может поглощаться в разной степени в зависимости от толщины ограждения, вида излучения и природы вещества защиты. Для защиты от нейтронного потока применяют материалы, содержащие в большом количестве связанную воду; от γ -излучений — материалы с большой плотностью (свинец, особо тяжелый бетон). Связанную воду содержат гидратированные бетоны, лимонитовая руда (водный оксид железа) и др. Уменьшить интенсивность проникания нейтронного излучения через бетон можно путем введения в него специальных добавок (бора, кадмия, лития).

● **Химическая стойкость** — способность материала сопротивляться воздействию кислот, щелочей, растворов солей и газов. Наиболее часто подвергаются действию агрессивных жидкостей и газов санитарно-технические сооружения, канализационные трубы, животноводческие помещения, гидротехнические сооружения (находящиеся в морской воде, имеющей большое количество растворенных солей). Не способны сопротивляться действию даже слабых кислот карбонатные природные каменные материалы — известняк, мрамор и доломит; не стоек к действию концентрированных растворов щелочей битум. Наиболее стойкими материалами по отношению к действию кислот и щелочей являются керамические материалы и изделия, а также многие изделия на основе пластмасс.

● **Долговечность** — способность материала сопротивляться комплексному действию атмосферных и других факторов в условиях эксплуатации. Такими факторами могут быть: изменение температуры и влажности, действие различных газов, находящихся в воздухе, или растворов солей, находящихся в воде, совместное действие воды и мороза, солнечных лучей. При этом потеря материалом механических свойств может происходить в результате нарушения сплошности структуры (образования трещин), обменных реакций с веществами внешней среды, а также в результате изменения состояния вещества (изменения кристаллической решетки, перекристаллизации, перехода из аморфного в кристаллическое состояние). Процесс постепенного изменения (ухудшения) свойств материалов в эксплуатационных условиях иногда называют старением.

Долговечность и химическая стойкость материалов непосредственно связаны с величиной затрат на эксплуатацию зданий и сооружений. Повышение долговечности и химической стойкости строительных материалов является наиболее актуальной задачей в техническом и экономическом отношениях.

§ 1.3. Механические свойства

● **Механические свойства** характеризуются способностью материала сопротивляться всем видам внешних воздействий с приложением силы. По совокупности признаков различают проч-

ность материала при сжатии, изгибе, ударе, кручении и т. д., твердость, пластичность, упругость, истираемость.

● **Прочность** — свойство материала сопротивляться разрушению под действием напряжений, возникающих от нагрузки. Изучением этого свойства материалов занимается специальная наука — сопротивление материалов. Ниже излагаются общие понятия о прочности материалов, необходимые для изучения основных свойств строительных материалов.

Материалы, находясь в сооружении, могут испытывать различные нагрузки. Наиболее характерными для строительных конструкций являются сжатие, растяжение, изгиб и удар. Каменные материалы (гранит, бетон) хорошо сопротивляются сжатию и намного хуже (в 5...50 раз) — растяжению, изгибу, удару, поэтому каменные материалы используют главным образом в конструкциях, работающих на сжатие. Такие материалы, как металл и древесина, хорошо работают на сжатие, изгиб и растяжение, поэтому их используют в конструкциях, испытывающих эти нагрузки.

Прочность строительных материалов характеризуется пределом прочности. **Пределом прочности (Па) называют напряжение, соответствующее нагрузке, вызывающей разрушение образца материала:**

$$R = F/A,$$

где F — разрушающая сила, Н; A — площадь поперечного сечения образца до испытания, м^2 .

Предел прочности при сжатии различных материалов 0,5...1000 МПа и более. Прочность на сжатие определяют испытанием образцов на механических или гидравлических прессах (рис. 1.5). Для этой цели применяют специально изготовленные образцы, формы куба со стороной 2...30 см. Из более однородных материалов образцы делают меньших размеров, а из менее однородных — больших размеров. Иногда на сжатие испытывают образцы, имеющие форму цилиндров или призм. При испытании на растяжение металлов применяют образцы в виде круглых стержней или полос; при испытании на растяжение вяжущих веществ используют образцы в виде восьмерок.

Для определения предела прочности образцы изготавливают в соответствии с указаниями ГОСТов. Размеры и форму об-

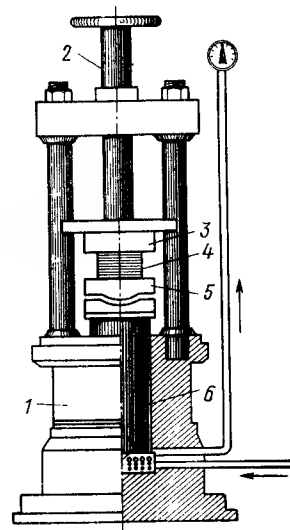


Рис. 1.5. Схема гидравлического пресса для испытания на сжатие:

1 — станина; 2 — винтовое приспособление для зажима образца; 3 — верхняя опорная плита; 4 — испытуемый образец; 5 — нижняя опорная плита с шаровой поверхностью; 6 — поршень

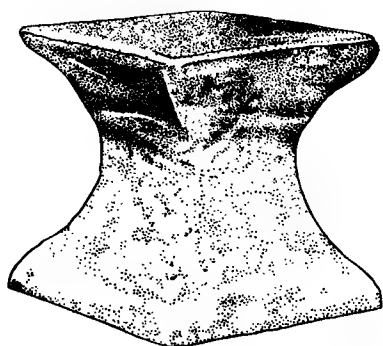
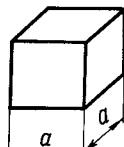
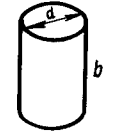


Рис. 1.6. Образец куба после испытания на сжатие на гидравлическом прессе

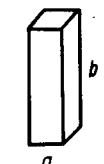
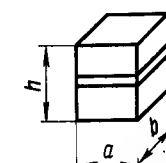
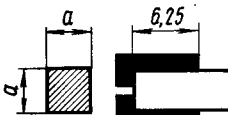
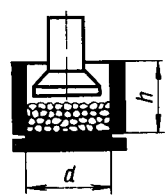
испытывают поперечное расширение, которое удерживается только силами сцепления между частицами. Поэтому чем дальше находится сечение образца от плит пресса, тем легче происходит разрушение в этом сечении и образца в целом. По этой же причине при испытании хрупких материалов (камня, бетона, кирпича и т. п.) образуется характерная форма разрушения — образец превращается в две усеченные пирамиды, сложенные вершинами (рис. 1.6).

На прочность материала оказывают влияние не только форма и размер образца, но и характер его поверхности и скорость приложения нагрузки. Поэтому для получения сравнимых результатов нужно придерживаться стандартных методов испытания, установленных для данного материала. В табл. 1.4 приведены характерные образцы, применяемые для определения предела прочности строительных материалов.

Таблица 1.4. Схема стандартных методов определения прочности при сжатии

Образец	Эскиз	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Куб		$R = F/a^2$	Бетон Раствор Природный камень	15×15×15 7,07×7,07×7,07 5×5×5; 10×10×10; 15×15×15; 20×20×20
Цилиндр		$R = 4F/(\pi d^2)$	Бетон Природный камень	$d = 15; h = 30$ $d = h = 5; 7; 10; 15$

Продолжение

Образец	Эскиз	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Призма		$R_{пр} = F/a^2$	Бетон Древесина	$a = 10; 15; 20;$ $h = 40; 60; 80$ $a = 2; h = 3$
Составной образец		$R = F/A$	Кирпич	$a = 12; b = 12,3; h = 14$
Половина образца-призмы, изготовленной из цементно-песчаного раствора		$R = F/A$	Цемент	$a = 10; A = 25 \text{ см}^2$
Проба щебня (гравия) в цилиндре		$D_p = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100$	Крупный заполнитель для бетона	$d = 15; h = 15$

Прочность зависит также от структуры материала, его плотности (пористости), влажности, направления приложения нагрузки. На изгиб испытывают образцы в виде балочек, расположенных на двух опорах и нагруженных одним или двумя сосредоточенными грузами, увеличиваемыми до тех пор, пока балочки не разрушатся.

Предел прочности на изгиб ($R_{и}$) определяют по формулам: при одном сосредоточенном грузе и балке прямоугольного сечения

$$R_{и} = 3Fl/(2bh^2);$$

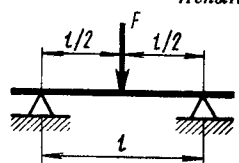
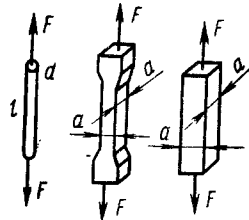
при двух равных грузах, расположенных симметрично оси балки,

$$R_{и} = 3F(l - a)/(bh^2),$$

где F — разрушающая нагрузка, Н; l — пролет между опорами, м; b и h — ширина и высота поперечного сечения балки, м; a — расстояние между грузами, м.

В табл. 1.5 приведены схемы испытания и расчетные формулы.

Таблица 1.5. Схема стандартных методов определения прочности при изгибе и растяжении

Образец	Схема испытания	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Призма, кирпич в натуре	Испытание на изгиб 	$R_n = 3Fl / (2bh^2)$	Цемент Кирпич	$4 \times 4 \times 16$ $12 \times 6,5 \times 25$
Призма		$R_{p,и} = Fl / (bh^2)$	Бетон Древесина	$15 \times 15 \times 60$ $2 \times 2 \times 30$
Стержень, восьмерка, призма	Испытание на растяжение 	$R_p = 4F / (\pi d^2)$ $R_p = F / a^2$	Бетон Сталь	$5 \times 5 \times 50$; $10 \times 10 \times 80$ $d_0 = 1$; $l_0 = 5$; $l \geq 10$
Цилиндр		$R_{p,p} = 2F / (\pi dl)$	Бетон	15×15

В материалах конструкций допускаются напряжения, составляющие только часть предела прочности, таким образом создается запас прочности. При установлении величины запаса прочности учитывают неоднородность материала — чем менее однороден материал, тем выше должен быть запас прочности.

При установлении коэффициента запаса прочности важными являются агрессивность эксплуатационной среды и характер

приложения нагрузки. Агрессивная среда и знакопеременные нагрузки, вызывающие усталость материала, требуют более высокого коэффициента запаса прочности. Запас прочности, обеспечивающий сохранность и долговечность конструкций зданий и сооружений, устанавливают нормами проектирования и определяют видом и качеством материала, условиями работы и классом здания по долговечности, а также специальными технико-экономическими расчетами.

За последние годы в практику строительства внедряются новые методы контроля прочности, позволяющие испытывать без разрушения образцы или отдельные элементы конструкций. Этими методами можно испытывать изделия и конструкции при их изготовлении на заводах и строительных объектах, а также после установки их в зданиях и сооружениях.

Известны акустические методы, из которых наибольшее распространение получили импульсный и резонансный. Указанным методам присуще общее основное положение, а именно: физические свойства материала или изделия оцениваются по косвенным показателям — скорости распространения ультразвука или времени распространения волны удара, а также частотой собственных колебаний материала и характеристикой их затухания.

● **Твердость — способность материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела.** Твердость не всегда соответствует прочности материала. Для определения твердости существует несколько методов.

Твердость каменных материалов оценивают по шкале Мооса, состоящей из десяти минералов, расположенных по степени возрастания их твердости. Показатель твердости испытуемого материала находится между показателями твердости двух соседних минералов, из которых один чертит, а другой чертится этим материалом. Твердость металлов и пластмасс определяют вдавливанием стального шарика. От твердости материалов зависит их истираемость. Это свойство материала важно при обработке, а также при использовании его для полов, дорожных покрытий.

Шкала твердости Мооса

- | | |
|---------------------------|--|
| 1. Тальк или мел | Легко чертится ногтем |
| 2. Гипс или каменная соль | Чертится ногтем |
| 3. Кальцит или ангидрит | Легко чертится стальным ножом |
| 4. Плавиковый шпат | Чертится стальным ножом под небольшим нажимом |
| 5. Апатит (сталь) | Чертится стальным ножом под большим нажимом |
| 6. Полевой шпат | Слегка царапает стекло, стальным ножом не чертится |
| 7. Кварц | Легко чертит стекло, стальным ножом не чертится |
| 8. Топаз | |
| 9. Корунд | |
| 10. Алмаз | |

● **Истираемость материала** характеризуется потерей первоначальной массы, отнесенной к 1 м^2 площади истирания. Сопротивление истиранию определяют для материалов, предназначенных для полов, дорожных покрытий, лестничных ступеней и др.

● **Износом** называют разрушение материала при совместном действии истирания и удара. Прочность при износе оценивается потерей в массе, выраженной в процентах. Износу подвергают материалы для дорожных покрытий и балласта железных дорог.

● **Сопротивление удару** имеет большое значение для материалов, применяемых в полах и дорожных покрытиях. Предел прочности материала при ударе (Дж/м^3) характеризуется количеством работы, затраченной на разрушение образца, отнесенной к единице объема материала. Испытание материалов на удар производят на специальном приборе — копре.

● **Деформация** — изменение размеров и формы материалов под нагрузкой. Если после снятия нагрузки образец материала восстанавливает свои размеры и форму, то деформацию называют упругой, если же он частично или полностью сохраняет изменение формы после снятия нагрузки, то такую деформацию называют пластической.

● **Упругость** — свойство материала восстанавливать после снятия нагрузки свою первоначальную форму и размеры. Пределом упругости считают напряжение, при котором остаточные деформации впервые достигают некоторой очень малой величины (устанавливаемой техническими условиями на данный материал).

Пластичность — свойство материала изменять свою форму под нагрузкой без появления трещин (без нарушения сплошности) и сохранять эту форму после снятия нагрузки. Все материалы делятся на пластичные и хрупкие. К пластичным материалам относят сталь, медь, глиняное тесто, нагретый битум и т. п. Хрупкие материалы разрушаются внезапно без значительной деформации. К ним относят каменные материалы. Хрупкие материалы хорошо сопротивляются только сжатию и плохо — растяжению, изгибу, удару.

ГЛАВА 2

ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

● **Горной породой** называют минеральную массу более или менее постоянного состава, состоящую из одного — мономинерального или нескольких — полиминеральных минералов. Примером мономинеральных горных пород являются кварцевые пески, химически чистые гипс, магнезит, а полиминеральных — гранит, базальт, порфиры.

● **Минералом** называют природное тело, однородное по химическому составу и физическим свойствам. Минерал является продуктом физико-химических процессов, совершающихся в земной коре.

Благодаря повсеместной распространенности в природе и разнообразным физико-механическим свойствам природные каменные материалы широко применяют для строительных целей. Их используют без обработки (гравий, песок) или подвергают механической обработке (дроблению, распиловке, отеске, шлифовке), получая щебень, плиты, штучные камни, различные архитектурно-декоративные детали. Горные породы являются также основным сырьем для получения минеральных вяжущих веществ — гипса, извести, цемента и в производстве искусственных каменных материалов — кирпича, стекла, изделий из бетонов и растворов.

Изучение свойств природных каменных материалов существенно облегчается, если основываться на классификации горных пород. В основу классификации горных пород положено их происхождение (генетическая классификация). Происхождение и условия образования горных пород определяют их химико-минералогический состав, кристаллическое строение и структуру. Эти показатели характеризуют прочность, долговечность, декоративные качества горных пород и являются исходными при выборе и технико-экономической оценке горных пород для различных конструкций зданий и сооружений.

§ 2.1. Классификация горных пород

Согласно генетической классификации, горные породы подразделяются на три большие группы: изверженные, осадочные и метаморфические (табл. 2.1).

● **Изверженные горные породы** образовались из расплавленной магмы, поднявшейся из глубин Земли и отвердевшей при остывании. Различные условия охлаждения магмы привели к образованию изверженных пород с различным строением и свойствами.

Таблица 2.1. Генетическая классификация горных пород

Изверженные (магматические) породы		Осадочные породы						Метаморфические (видоизмененные) породы	
массивные		обломочные		химические осадки	органогенные отложения	механические отложения (обломочные породы)		продукты видоизменения изверженных пород	продукты видоизменения осадочных пород
глубинные	изливающиеся	рыхлые	цементированные	рыхлые			цементированные		
Граниты, сиениты, диориты, габбро	Порфиры, диабазы, трахиты, базальты, порфириты, андезиты	Вулканические пемзы, пемзы	Вулканические туфы	Гипс, ангидрит, магнетит, доломиты, известковые туфы, некоторые виды известняков	Известняки, мел, ракушечник, диатомиты и трепелы	Глины, пески, гравий	Песчаники, конгломераты, брекчии	Гнейсы	Мраморы, кварциты

Глубинные породы, образование которых происходило под значительным давлением верхних слоев, остывали медленно и сравнительно равномерно. Такие условия были благоприятны для кристаллизации минералов, составляющих горную породу. В связи с этим глубинные породы массивны, плотны и состоят из тесно сросшихся более или менее крупных кристаллов; они обладают большой плотностью, высокими прочностью на сжатие и морозостойкостью, малым водопоглощением и большой теплопроводностью. Глубинные породы имеют зернистое кристаллическое строение, называемое еще гранитным — от названия наиболее распространенного представителя этих пород — гранита.

Изливающиеся породы образовались на поверхности земли при отсутствии давления и при быстром охлаждении магмы. Некоторая часть магмы, излившаяся на поверхность, уже содержала кристаллы отдельных минералов. Поэтому в большинстве случаев изливающиеся породы состоят из отдельных хорошо сформированных кристаллов, вкрапленных в основную скрытокристаллическую массу; такое строение называют порфировым по аналогии с широко распространенными среди этой группы пород порфирами. В тех случаях, когда изливающиеся породы застывали

мощным слоем, их строение было сходно с глубинными породами. Если же слой был сравнительно тонок, то охлаждение происходило быстро и масса их оказывалась стекловатой, а верхние слои излившейся лавы становились пористыми вследствие энергичного выделения газов из магмы при уменьшении давления.

Обломочные породы образовались при быстром охлаждении раздробленной, выбрасываемой при извержении вулканов лавы (пемза, вулканический пепел). Часть обломочных пород (вулканического пепла) подверглась цементированию, образуя вулканические туфы.

● **Осадочные горные породы образовались при осаждении веществ из какой-либо среды, главным образом водной.** Осаждение происходило периодами в виде отдельных слоев и пластов. По характеру образования и составу осадочные горные породы делят на три группы: химические, органогенные и механические.

Химические осадки представляют собой горные породы, образовавшиеся при осаждении минеральных веществ из водных растворов с последующим их уплотнением и цементацией (гипс, ангидрит, известковые туфы и др.).

Органогенные породы образовались в результате отложения остатков некоторых водорослей и животных организмов с последующим их уплотнением и цементацией (большинство известняков, мел, диатомиты и др.).

Механические отложения образовались в результате осаждения или накопления рыхлых продуктов при физическом и химическом распаде горных пород. Часть из них подвергалась в дальнейшем цементированию глинистым веществом, железистыми соединениями, карбонатами или другими углеродными цементами, образуя цементированные осадочные породы — конгломераты, брекчии.

● **Метаморфические (видоизмененные) горные породы образовались в результате более или менее глубокого преобразования изверженных или осадочных горных пород под влиянием высоких температуры и давления, а иногда и химических воздействий.** В этих условиях может происходить перекристаллизация минералов без их плавления; получающиеся при этом породы обычно более плотны, чем исходные осадочные. В процессе метаморфизма происходило изменение структуры горных пород. В большинстве случаев метаморфические породы отличаются сланцеватой структурой.

§ 2.2. Породообразующие минералы

Строительные свойства горных пород в значительной степени зависят от их минералогического состава. Одни минералы отличаются высокой прочностью, твердостью, химической стойкостью (кварц), другие имеют низкую прочность, размокают в воде (гипс). Отдельные минералы обладают спайностью и способны легко расщепляться по одному или нескольким направлениям

(слюда), понижая этим прочность породы, в состав которой они входят, и т. д.

Отличительными показателями минералов служат их химический состав и физические свойства — плотность, твердость.

● Среди большого разнообразия природных минералов только небольшая их часть принимает основное участие в образовании горных пород. Поэтому эти минералы названы **породообразующими** (полевые шпаты, слюды, железисто-магнезиальные минералы, карбонаты и сульфаты).

Кварц по химическому составу представлен диоксидом кремния SiO_2 . Это наиболее распространенный минерал земной коры, находящийся в природе в виде самостоятельной горной породы (кварцевых песка и стекла, горного хрусталя) или входящий в состав полиминеральных горных пород. Плотность кварца 2650 кг/м^3 , твердость 7, предел прочности при сжатии около 2000 МПа . Кварц стоек к действию кислот, за исключением плавиковой, и обладает высокой атмосферостойкостью. При температуре $18\ldots 20^\circ\text{C}$ кварц не реагирует с известью Ca(OH)_2 , но в среде насыщенного водяного пара и при температуре $150\ldots 200^\circ\text{C}$ вступает с ней в реакцию, образуя гидросиликаты. Этим свойством кварца пользуются, получая искусственные каменные материалы из смеси кварцевого песка и извести, называемые силикатными. При повышении температуры кварц претерпевает физические изменения. Так, при температуре 575°C кварц из β -модификации переходит в α -модификацию, скачкообразно увеличиваясь в объеме примерно на $1,5\%$. При температуре 870°C кварц переходит в тридимит, значительно увеличиваясь в объеме, так как плотность тридимита равна 2260 кг/м^3 , β -кварца — 2650 кг/м^3 . При температуре 1710°C кварц плавится, образуя после быстрого остывания кварцевое стекло.

Полевые шпаты по химическому составу представляют собой алюмосиликаты — соединения кремнезема с оксидом алюминия и оксидами щелочных металлов K_2O , Na_2O , CaO . Полевые шпаты имеют плоскости спайности, легко раскалываются по этим плоскостям и отличаются различной окраской. Твердость их равна 6. По характеру проявления спайности полевые шпаты делят на ортоклазы и плагиоклазы. Ортоклазы $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ — прямо раскалывающиеся минералы; плагиоклазы — косо раскалывающиеся. К последним относятся альбит, или натриевый полевой шпат $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, и анортит, или кальциевый полевой шпат $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Полевые шпаты имеют предел прочности на сжатие $120\ldots 170 \text{ МПа}$, плотность — от 2500 (ортоклаз) до 2760 кг/м^3 (анортит). По сравнению, например, с кварцем они легко выветриваются, т. е. разрушаются под действием атмосферных агентов — влаги, углекислого газа. Продуктами выветривания являются алюмосиликаты, в частности каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, входящий в состав глин, а иногда и кальцит CaCO_3 .

Слюды — водяные алюмосиликаты сложного и разнообразно-

го состава. Их делят на два вида: биотит и мусковит. В биотите содержатся примеси в виде оксида магния и железа, вследствие чего биотит непрозрачен и имеет темный, а иногда и черный цвет; мусковит прозрачен, так как не имеет этих примесей. Слюды легко расщепляются на тонкие упругие пластинки, что характеризует их совершенную спайность. Плотность мусковита $2760\ldots 3100 \text{ кг/м}^3$, а биотита $2800\ldots 3200 \text{ кг/м}^3$, твердость $2\ldots 3$. Биотит входит в состав многих изверженных горных пород. Выветривается он быстрее, чем мусковит. Последний встречается в изверженных и осадочных горных породах.

К **железисто-магнезиальным минералам** относятся пироксены (наиболее распространенный представитель — авгит), амфиболы (роговая обманка) и оливин. Железисто-магнезиальные минералы имеют сложный химический состав; в основном это силикаты магния и железа. Они имеют темную окраску зеленого, бурого, а иногда и черного цвета. Плотность $3000\ldots 3600 \text{ кг/м}^3$, твердость $5,5\ldots 7,5$. Минералы этой группы (за исключением оливина) обладают высокой ударной вязкостью и стойкостью против выветривания. Продуктом выветривания оливина является серпантин, одна из разновидностей которого, хризолит-асбест, имеет волокнистое строение и состоит из тончайших, очень прочных волокон. Перечисленные минералы входят преимущественно в состав изверженных горных пород.

Важнейшими **породообразующими минералами осадочных горных пород** являются кальцит, магнезит, доломит, гипс и ангидрит.

Кальцит CaCO_3 (известковый шпат) является одним из наиболее распространенных минералов земной коры. Кальцит образует крупно-, средне- и мелкозернистые породы; плотность его 2700 кг/м^3 , твердость 3. Кальцит растворим в воде ($0,03 \text{ г}$ в 1 л), бурно реагирует с кислотами. Вода, содержащая CO_2 , действует на кальцит разрушающе, так как при этом образуется кислый углекислый кальций $\text{Ca(HCO}_3)_2$, который растворим в воде более чем в 100 раз по сравнению с CaCO_3 .

Магнезит MgCO_3 в отличие от кальцита встречается в природе значительно реже, он имеет несколько большую твердость и меньшую растворимость, чем кальцит.

Доломит $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ — минерал, который по химическому составу представляет собой двойную углекислую соль магния и кальция. Доломит по физическим свойствам аналогичен магнезиту.

Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ представляет собой минерал пластинчатого, волокнистого или зернистого строения, плотность 2300 кг/м^3 , мягкий — твердость 2. Гипс имеет белый цвет, иногда окрашен примесями в различные цвета: серый, красноватый, желтоватый и черный. Гипс обладает сравнительно легкой растворимостью в воде (примерно в 75 раз большей, чем кальцит).

Ангидрид CaSO_4 — безводная разновидность гипса. Плотность ангидрита $2800\ldots 3000 \text{ кг/м}^3$, твердость $3\ldots 3,5$; цвет от

красновато-белого до серого. При длительном воздействии воды ангидрит способен перейти в гипс с незначительным увеличением объема.

Каолинит представляет собой водный силикат алюминия. Отдельные пластинки и чешуйки его бесцветны, а сплошная масса может иметь белый, желтоватый, буроватый и голубовато-зеленоватый цвета. Твердость 2,5.

Пирит, серный колчедан FeS_2 , апатит (кальциевая соль фосфорной кислоты) и другие встречаются в горных породах в качестве второстепенных минералов.

§ 2.3. Изверженные горные породы

Среди изверженных горных пород различают массивные и обломочные, образовавшиеся в результате разрушения массивных пород.

● **Массивные глубинные горные породы (граниты, сиениты, диориты и габбро)** образовались в результате медленного охлаждения магмы на большой глубине под значительным давлением и в результате этого полной кристаллизации ее. Все глубинные породы характеризуются высокой плотностью и ярко выраженной кристаллической (крупнокристаллической) структурой (рис. 2.1).

Гранит — наиболее распространенная глубинная горная порода, состоящая в основном из кварца, полевого шпата и слюды. Иногда слюда заменена темноокрашенными (железисто-магнетизальными) минералами. Цвет гранита зависит от главной составной части — полевого шпата и наличия темных минералов. Он бывает серый, красный и пр. Зерна минералов имеют настолько прочную спайность, что излом чаще происходит не по плоскости спайности, а по зернам минералов. Плотность гранита в среднем 2600 кг/м^3 , предел прочности при сжатии $100...300 \text{ МПа}$,



Рис. 2.1. Вид под микроскопом крупнокристаллической зернистой структуры гранита:

К — кварц; О — ортоклаз;
С — слюда

а при растяжении $1/40...1/60$ предела прочности при сжатии. Большая механическая прочность, стойкость против выветривания и морозостойкость обуславливают высокие строительные свойства гранита и изготовленных из него строительных материалов и изделий. Гранит применяют для изготовления облицовочных плит, лестничных ступеней, полов, бортовых камней, щебня и др. Гранит используют при строительстве гидротехнических сооружений и сооружений памятников.

Сиенит состоит в основном из полевого шпата (ортоклаза) и какого-нибудь темноокрашенного минерала. Строение сиенита сходно с гранитом.

Плотность $2400...2900 \text{ кг/м}^3$, предел прочности при сжатии $150...200 \text{ МПа}$. Сиениты мягче гранитов, лучше поддаются полировке, обладают большей вязкостью. Используют сиениты наряду с гранитами. Между гранитами и сиенитами имеются переходные разновидности — граносиениты.

Диориты по минералогическому составу представлены плагиоклазом, роговой обманкой, реже — биотитом и авгитом. Цвет диорита от темно-зеленого до черно-зеленого. Плотность $2700...2900 \text{ кг/м}^3$, предел прочности при сжатии $180...200 \text{ МПа}$. Диориты трудно обрабатываются, обладают большим сопротивлением истиранию, хорошо полируются, стойки против выветривания. Применяют диорит в дорожном строительстве и в виде облицовочных плит.

Габбро — кристаллическая горная порода, состоящая в основном из плагиоклаза и темноокрашенных минералов (пироксены в виде авгита). Реже в состав габбро входят биотит и роговая обманка. Цвет габбро может быть от серого и зеленого до черного. К группе габбро относится также лабрадорит — горная порода, состоящая в основном из минерала лабрадора (разновидности полевого шпата) серого, зеленовато-серого или темного цвета с синим отблеском на плоскостях спайности. Плотность габбро очень высокая и равна $2900...3160 \text{ кг/м}^3$; предел прочности при сжатии $100...280 \text{ МПа}$, а иногда и до 350 МПа . Габбро стойко против выветривания, трудно обрабатывается, но дает хорошую долговечную полировку. Применяют его для гидротехнических и других видов сооружений в виде разнообразных строительных материалов — щебня, облицовочных плит и т. д. Лабрадорит, обладающий красивой расцветкой, используют как облицовочный материал.

● **Излившиеся горные породы образовались при остывании магмы, излившейся на поверхность земной коры.** Структура излившихся пород может быть полукристаллической, зернистой и стекловатой. Излившиеся породы имеют химический и минералогический составы такие же, как и глубинные, обладают примерно теми же физико-механическими свойствами, но отличаются мелкокристаллической (до стекловатой) структурой.

Кварцевый порфир — аналог гранита — имеет стекловатую структуру с вкраплением крупных зерен кристаллов кварца. При выветривании эти зерна могут выпадать из основной массы горной породы. Плотность $2400...2600 \text{ кг/м}^3$, предел прочности при сжатии $130...180 \text{ МПа}$. Используют его в виде щебня или штучного камня. Наряду с кварцевым порфиром существует бескварцевый порфир (аналог сиенитов), в котором кварц отсутствует.

Трахит — горная порода, по химико-минералогическому составу сходная с порфиром, но образовавшаяся в более поздние геологические периоды. Трахит отличается высокой пористостью и относительно низким пределом прочности при сжатии — $60...70 \text{ МПа}$.

Диабаз — аналог габбро — состоит из плагиоклаза и авгита и имеет в своем составе примеси кварца и роговой обманки. Плотность 2800...3000 кг/м³, предел прочности при сжатии 200...300 МПа, цвет темно-серый. Диабаз хорошо полируется. Применяют его в виде щебня, штучных камней, плит, брусчатки, в качестве облицовочного материала. Из расплавленного диабаза при температуре 1200...1350 °С отливают различные изделия. Плавленный диабаз стоек к кислотам и щелочам, обладает высокими диэлектрическими свойствами. Прочность плавного диабаза составляет около 500 МПа.

Базальт по химическому и минералогическому составу является аналогом габбро. Имеет темный цвет, скрытокристаллическую структуру с некоторым количеством вулканического стекла и состоит из плагиоклаза и авгита. Плотность 2700...3300 кг/м³, предел прочности при сжатии 100...150 МПа. Высокая твердость и прочность базальтов позволяет использовать их в качестве материалов для дорожных покрытий. Применяют базальт как сырье для изготовления каменного литья.

Порфирит и андезит — аналоги диорита. Порфирит — более старая, а андезит — более молодая горные породы; цвет их серый, серовато- и желтовато-зеленый. Плотность 2200...2800 кг/м³, предел прочности при сжатии 60...240 МПа. Порфириты применяют в качестве облицовочного материала, щебня и дорожной брусчатки, а андезит (как кислотостойкий материал) — в качестве заполнителя в кислотоупорных бетонах, а также для специальных облицовок.

● **Обломочные породы делят на рыхлые (пемза, вулканические пеплы и др.) и цементированные (вулканический туф).**

Пемза образовалась при быстром остывании магмы и интенсивном выделении из нее газов, вспучивающих массу. Последующее быстрое остывание вспученных кусков магмы приводит к образованию стекловидной пористой породы. Цвет пемзы серый, черный и иногда белый. Пемза состоит из кремнезема SiO₂ (до 70 %) и глинозема Al₂O₃ (до 15 %). Залегают пемза в виде обломков размеров 5...50 мм в диаметре, выброшенных во время извержения вулканов. Плотность пемзы в куске 400...1400 кг/м³, пористость до 80 %, предел прочности при сжатии 0,4...2,0 МПа, твердость 6. Используют пемзу как щебень для легких бетонов, в качестве теплоизоляционного материала, а также как активную минеральную добавку к извести и цементам.

Вулканический пепел встречается в виде порошка от серого до черного цвета. Применяют для получения легких растворов и бетонов, а также в качестве активной минеральной добавки к вяжущим веществам.

Вулканические туфы — цементированная туфовая лава, образованная при примешивании во время извержений к жидкой лаве пепла и песка. В результате быстрого охлаждения туфы имеют стекловидное строение. Типичным представителем вулка-

нического туфа является арктический туф (по наименованию месторождения, расположенного близ г. Артик в Армении). Плотность туфа в куске 1250...1350 кг/м³, пористость 40...70 %, предел прочности при сжатии 8...19 МПа и выше, теплопроводность 0,21...0,33 Вт/(м·°С). Цвет розовато-фиолетовый. Применяют туф в качестве песка или щебня для легких бетонов и растворов, крупных стеновых блоков, а также активной добавки к воздушной извести или цементу. Высокие декоративные качества и морозостойкость позволяют широко применять туф в качестве облицовочного материала для фасадов зданий.

§ 2.4. Осадочные горные породы

● **Осадочные горные породы образовались в результате осадения солей в высыхающих водоемах — химические осадки, скопления остатков растительного и животного мира — органические, а также в результате разрушения массивных горных пород магматического или осадочного происхождения — обломочные.**

● **К химическим осадкам относят гипс, ангидрит, магнезит, доломит и известковые туфы.**

Гипс — горная порода, состоящая из минерала того же названия. Гипс применяют для производства воздушного вяжущего — строительного гипса, а также в качестве облицовочного материала внутренних частей зданий в виде искусственного мрамора.

Ангидрит состоит из одноименного минерала — ангидрита CaSO₄. Применяют его в качестве облицовочного материала, а также сырья для производства ангидритового цемента.

Магнезит состоит из минерала того же названия — магнезита MgCO₃. Иногда он содержит примеси углекислых кальция и железа. Твердость магнезита 3,5...4,0; цвет белый, от желтоватого до бурого. Применяют магнезит в качестве сырья для производства воздушного вяжущего — каустического магнезита и огнеупорных материалов.

Доломит состоит в основном из минерала доломита CaCO₃·MgCO₃ с примесями глинистого, железистого, кремнистого и других веществ. Цвет серый, от желтоватого до бурого. Структура зернистая. По свойствам доломиты близки к плотным известнякам, иногда они обладают и более высокими, чем известняки, механическими свойствами. Применяют доломит для производства щебня, изготовления облицовочных плит, огнеупоров и вяжущих материалов.

Известковые туфы образовались при выделении CaCO₃ из кислого углекислого кальция, растворенного в воде. Очень пористые известковые туфы используют как сырье для получения извести, а плотные с мелкими равномерно расположенными

порами туфы применяют в виде штучных камней для кладки стен и в качестве щебня для легких бетонов.

● К **органогенным породам** относят различные карбонатные и кремнистые породы. Для строительных целей используют известняки, известняки-ракушечники, мел, диатомиты и трепелы.

Известняк образовался в водных бассейнах из остатков животного и растительного мира (или как продукт химических осадков). Рыхлые скопления раковин и их осколков скреплялись углекислым кальцием. Известняк состоит в основном из минерала кальцита CaCO_3 и примесей глины, доломита, кварца и др. Плотность известняка $1700...2600 \text{ кг/м}^3$, прочность при сжатии $10...100 \text{ МПа}$. Цвет белый, от желтоватого до бурого. Известняк используют для производства щебня, облицовочных плит и архитектурных деталей, а также для производства извести и портландцемента.

Известняк-ракушечник — пористая горная порода, состоящая из раковин и их обломков, сцементированных известковым веществом. Плотность $900...2000 \text{ кг/м}^3$, предел прочности при сжатии $0,4...15,0 \text{ МПа}$ и более. Применяют для изготовления стеновых камней и блоков, а также в качестве заполнителя для легких бетонов.

Мел — землистая горная порода, состоящая почти из чистого карбоната кальция. В качестве примесей встречаются глинистые вещества и зерна кварца. Мел обладает высокой дисперсностью. Цвет его белый. Применяют в качестве белого пигмента, для приготовления замазки, а также при производстве извести, портландцемента и стекла.

Диатомиты — слабо сцементированная, очень пористая кремнеземистая порода, состоящая от панцирей диатомовых водорослей и частично из скелетов животных организмов. Плотность $400...1000 \text{ кг/м}^3$, пористость $60...70\%$.

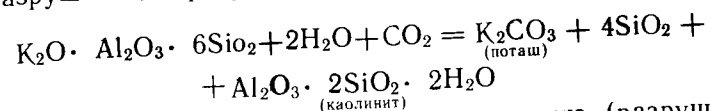
Трепелы — очень легкая глиноподобная порода, содержащая аморфный кремнезем в виде мельчайших шариков опала. Плотность $500...1200 \text{ кг/м}^3$, пористость $60...70\%$, коэффициент теплопроводности $0,17...0,23 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$.

Применяют диатомиты и трепелы для изготовления теплоизоляционных материалов, легкого кирпича, а также в производстве гидравлических вяжущих в качестве активных минеральных добавок.

Механические отложения образовались в результате физического выветривания горных пород под влиянием воды и температуры. Продукты разрушения переносились ветром и особенно водными потоками на различные расстояния и оседали. Так образовались глины, песок, щебень и гравий из массивных горных пород.

Химическое выветривание проявлялось в результате взаимодействия составных частей горных пород с различными веществами, находящимися в атмосфере. Так, полевой шпат (ортоклаз) под действием воды и углекислоты (находящейся в возду-

хе) разрушался, образуя минерал каолинит:



К физическому и химическому выветриванию (разрушению) горных пород часто присоединяется еще биохимическое выветривание, являющееся результатом жизнедеятельности животных и растительных организмов. В результате выветривания горных пород образуются дисперсные частицы, зерна и крупные обломки; некоторые из них цементируются глиной, кальцитом или кремнеземом, образуя цементированные горные породы. В зависимости от крупности зерен и цементации их различают следующие виды механических отложений осадочных горных пород.

Песок — рыхлая смесь зерен различных пород крупностью $0,16...5,0 \text{ мм}$. В зависимости от условий образования пески бывают горные, речные, морские, дюнные, барханные и др. Применяют для приготовления бетонов и растворов.

Гравий — окатанной формы зерна крупностью $5...70 \text{ мм}$. Применяют в качестве заполнителя для бетонов.

Песчаники — горная порода, состоящая из зерен кварца, сцементированная глинистым, кремнеземистым или известковым веществом. Прочность песчаника зависит от вида цементирующего вещества, крупности и формы сцементированных зерен. Наиболее прочные кремнеземистые песчаники имеют предел прочности при сжатии 200 МПа и более. Используют песчаники в качестве щебня для бетона, облицовки опор мостов и зданий, для дорожных покрытий, так как они имеют высокие морозостойкость и прочность при истирании.

Конгломераты — горная порода, состоящая из сцементированных зерен гравия, а **брекчия** — то же, из сцементированных зерен щебня. Конгломераты и брекчии используют в качестве щебня для бетонов, штучного камня и облицовочных плит.

§ 2.5. Метаморфические (видоизмененные) горные породы

● **Метаморфические горные породы образовались из магматических и осадочных путем их преобразования под влиянием высокой температуры и давления.** В строительстве применяют гнейсы, глинистые сланцы, мраморы, кварциты.

Гнейсы по минералогическому составу являются аналогами гранита и имеют сланцевое строение. Используют гнейсы преимущественно как облицовочные плиты, в виде бутового камня для кладки фундаментов и стен неотапливаемых зданий, для тротуаров.

Глинистые сланцы состоят из уплотненных сланцевых глин. Цвет темно-серый, иногда черный. Глинистые сланцы раскалываются на тонкие плитки, обладают высокой атмосферостой-

костью и долговечностью, что позволяет использовать их в качестве кровельного материала.

Мрамор — кристаллическая порода, образовавшаяся из известняков или доломитов. Кристаллы соединены без цементирующего вещества. Прочность мрамора до 300 МПа. Твердость небольшая — 3,0...3,5. Он сравнительно легко пилится на плиты и хорошо полируется. Применяют мрамор для облицовки внутренних частей зданий, так как снаружи зданий полировка быстро утрачивается. Это объясняется слабой химической стойкостью мрамора при воздействии на него атмосферы.

Кварциты — метаморфическая разновидность кремнистых песчаников с перекристаллизованными и сросшимися зернами кварца, так что цементирующее вещество неразличимо. Кварциты стойки против выветривания, прочность достигает 400 МПа. Используют кварциты для облицовки зданий, опор мостов, а также как сырье для производства динасовых огнеупорных изделий.

§ 2.6. Разработка и обработка природных каменных материалов

● Горные породы, пригодные для изготовления каменных материалов, называют полезными ископаемыми. Породы, сопровождающие полезные ископаемые и не используемые для указанной цели, относят к пустой породе. Работы, связанные с добычей полезных ископаемых, называют горными работами. Выработанные пространства, образующиеся в процессе добычи полезного ископаемого, получили название выработок, разрабатываемые месторождения — карьеры.

Добычу природных каменных материалов осуществляют главным образом открытым способом (рис. 2.2). Разработку

горных пород в карьерах ведут экскаваторами, гидромеханическим способом, камнерезными машинами, взрывным способом и т. д. Современные способы добычи основаны на широкой механизации всех производственных операций.

Выбор способа добычи природных каменных материалов зависит от вида горной породы, глубины и условий ее залегания, твердости и др. Рыхлые горные породы — песок, гравий, глину — добывают открытым способом с помощью различных машин, из которых наиболее распространенными являются одно- и многоковшовые экска-

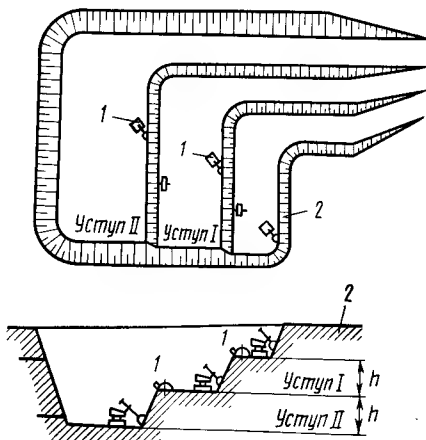


Рис. 2.2. Карьер:
1 — экскаваторы; 2 — вскрыша

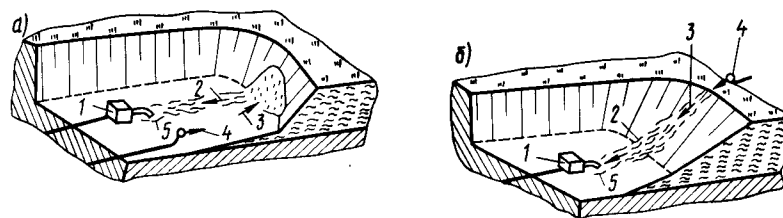


Рис. 2.3. Добыча нерудных материалов гидромониторами:
а — встречным забоем; б — попутным забоем; 1 — землесосная станция; 2 — пульповодная канавка; 3 — забой; 4 — гидромонитор; 5 — приемное устройство насосной станции

ваторы, а также с помощью гидромеханизации. Сущность гидромеханизации заключается в том, что вода подводится к месту добычи грунта под давлением, создаваемым насосами, проходит через гидромонитор и, вылетая с большой скоростью из его насадки, производит разрыв породы (рис. 2.3). Затем из смеси грунта с водой (пульпы) выделяется товарная продукция (песок или гравий).

Песок и гравий в карьерах классифицируют по крупности зерен на две фракции и более. Щебень получают дроблением горных пород, добываемых взрывным или другим способом.

Поскольку нерудные материалы, поступающие с карьеров, по крупности, зерновому составу, количеству примесей обычно непригодны для непосредственного использования в бетонах, необходима их переработка, включающая операции по дроблению, фракционированию, выработке мелких фракций, мойке, обогащению и складированию. Дроблению подвергаются зерна горной породы крупностью до 1200...1500 мм. Для сборного железобетона используется щебень крупностью 5...40 мм. Существующие конструкции дробильных установок не могут обеспечить измельчение кускового материала необходимых фракций при однократном прохождении, поэтому применяют двух- или трехступенчатые схемы дробления. Для дробления используют дробилки щековые, конусные, валковые и ударного действия (молотковые и роторные). Выбор схемы дробления и типа дробильного оборудования производят с учетом свойств исходного сырья и условий обеспечения максимального выхода качественного по размерам и форме заполнителя.

Эффективность работы дробильных агрегатов повышается при многоступенчатом дроблении с применением классификаторов, например виброгрохотов (рис. 2.4). Дробление нерудных материалов, как правило, производят в стационарных установках на заводе, однако в последнее время все большее применение находят передвижные дробильные установки.

Простейший вид классификации — грохочение; с его помощью производят разделение материала на фракции заданных размеров. На предприятиях нерудных строительных материалов

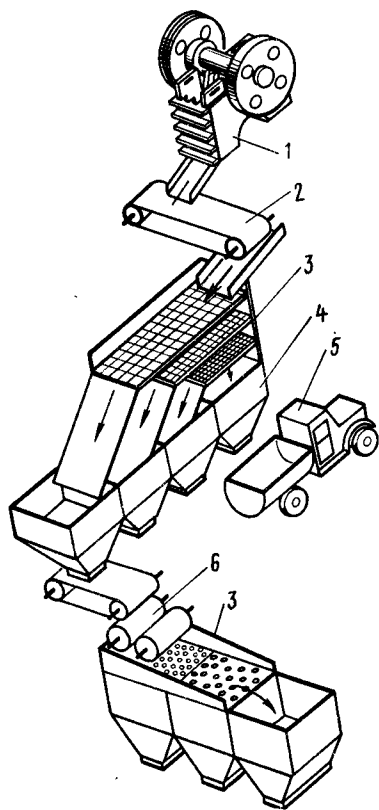


Рис. 2.4. Схема многоступенчатого дробления:
1 — щековая дробилка; 2 — транспортер;
3 — грохот; 4 — бункер; 5 — автосамосвал; 6 — вальцовая дробилка

грохот (рис. 2.6), который предназначен для промывки зерен крупностью до 100 мм с содержанием глины до 10%.

Наряду с грохочением применяется более точная гидравлическая классификация. Из гравитационных наиболее совершенны вертикальные классификаторы с восходящей струей. Классификация осуществляется в две стадии. Сначала пульпа разделяется в обогатительной камере (рис. 2.7), где основная часть мелких фракций выносится в слив, а оседающие крупные зерна песка поступают в классификационную камеру, где происходит окончательное разделение гидросмеси. Частицы крупнее заданного размера оседают к разгрузочному устройству, а мелкие — восходящим потоком выносятся в слив. Центробежные классификаторы (гидроциклоны, центрифуги) используют для выделения из песка и разделения зерен крупностью 0,15...0,3 мм.

Обезвоживание нерудных материалов производят различными

широко применяют плоские вибрационные грохоты. Для получения чистых, свободных от примесей заполнителей окончательное грохочение совмещают с промывкой.

После дробления и грохочения в материале остаются загрязняющие примеси в виде глины, ила и др., ухудшающие качество заполнителя. Для промывки нерудных строительных материалов широко используют наклонные лопастные мойки, а также барабанные промывочные машины. Барабанные промывочные машины в зависимости от направления движения отработанной воды со шламом бывают прямоточные и противоточные (рис. 2.5). Более эффективны противоточные машины, они выдают чистый заполнитель различной степени крупности от мелкого до 350 мм. В последнее время получили распространение вибрационные промывочные машины, как более эффективные, потребляющие относительно мало энергии и воды, и менее металлоемкие. Эффективен в работе также виброкаскадный промывочный

способами. Чаще применяют дренажное, широко используют для обезвоживания нерудных материалов сушку — естественную (в штабелях) или искусственную (в сушильных барабанах).

Операции по технологической переработке нерудных материалов одновременно способствуют их обогащению и повышению качества, но существуют и специальные способы обогащения, рассчитанные на переработку особых видов сырья, например с высоким содержанием слабых пород, а также на получение специальных видов заполнителя, обогащение щебня в грануляторах, тяжелых средах и др.

Правильные условия складирования нерудных строительных материалов обеспечивают сохранность их высокого качества и уменьшают потери.

По способу хранения склады различают: открытые — штабельные, штабельно-траншейные, штабельно-эстакадные; закрытые — полубункерные, бункерные и силосные. Заполнители хранятся раздельно по видам, фракциям и сортам.

Массивные изверженные горные породы разрабатывают, как

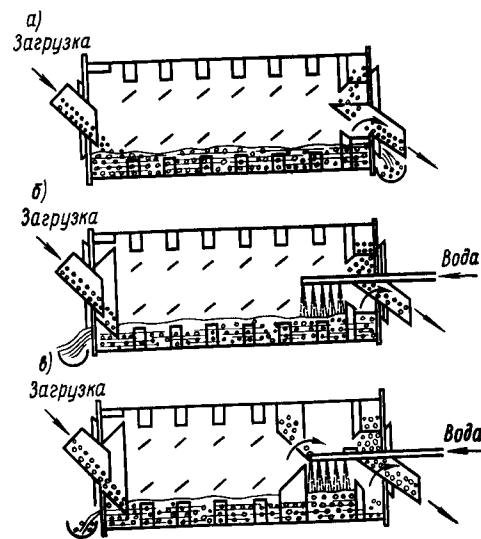


Рис. 2.5. Принципиальные схемы работы промывочных барабанов:
а — прямоточного барабана; б — противоточного барабана; в — противоточного барабана с внутренней подпорной стенкой

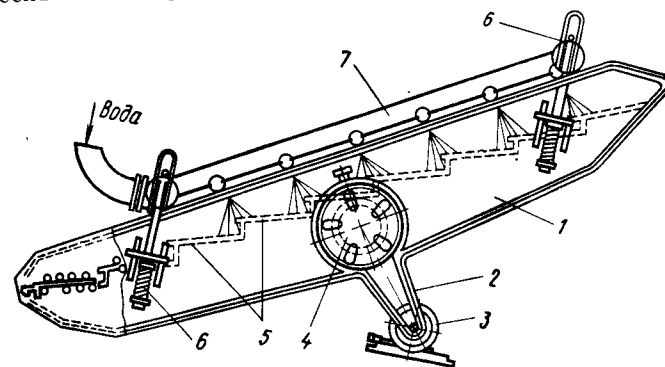


Рис. 2.6. Виброкаскадный промывочный грохот:
1 — короб грохота; 2 — клиноременная передача; 3 — электродвигатель; 4 — вибратор; 5 — сита; 6 — подвесное устройство; 7 — труба для подвода воды

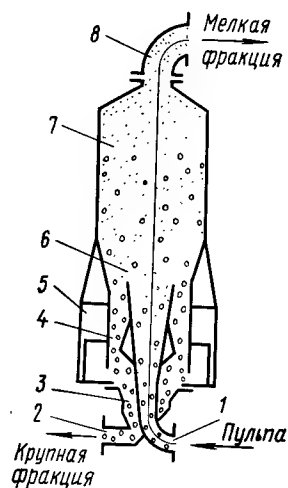


Рис. 2.7. Гидравлический классификатор с восходящей струей воды:

1 — питающий патрубок; 2 — разгрузочный патрубок; 3 — сборник крупной фракции; 4 — классификационная камера; 5 — водный коллектор; 6 — диффузор; 7 — обогатительная камера; 8 — сливная труба

правило, взрывом. При отделении глыб слоистых, трещиноватых, столбчатых пород применяют механические средства (клинья, механические лопаты и др.). Мягкие породы (известковые туфы и др.) добывают путем распиловки массива камнерезной машиной на блоки определенных размеров и правильной геометрической формы. При разработке месторождений некоторых разновидностей гранитов, туфов, мраморов (в открытых выработках) на штучный камень, плиты, блоки и т. д. применяют также способ распиловки пород механическими пилами.

На рис. 2.8 показаны современные машины, применяемые при разработке мрамора, мраморовидных известняков, известняков-ракушечников и других горных пород прочностью 3...180 МПа. Конструкция машины СМ-428 позволяет подрезать участки выветренной зоны горизонтальной фрезой, подрезать блоки сечением 1000×1000 мм произвольной длины горизонтальной и вертикальной фрезами.

Камнерезную машину СМ-177А применяют для вырезки непосредственно из горного массива блоков мрамора и других горных пород прочностью 5...180 МПа. Конструкция этой машины позволяет выполнять операции по проходке продольных и поперечных траншей, прорезке поперечных рядов на глубину блока, подрезке блока снизу и окончательной отрезке от массива. Можно получить максимальный размер блока 1000×1000 мм при произвольной длине.

Камнерезная машина КМАЗ-188 предназначена для вырезки штучного камня в подземных условиях, в забоях небольшого сечения (ширина 2880 мм и высота 2330 мм), а также в шахтах большого сечения и открытых разработках. Управление машины кнопочное с пульта управления электромагнитной станции, установленной на машине. Эту машину применяют для вырезки камня ракушечника прочностью до 3 МПа, размерами 19×24×49 и 19×19×39 см. Для обработки камня из пород прочностью до 40 МПа применяют фрезерный станок ЛТ-2, на котором можно обрабатывать камни длиной до 480 мм и высотой до 400 мм.

В зависимости от способа изготовления изделий материалы из природного камня делят на следующие виды: пиленые — получаемые из массива камнерезными или камнекольными машинами (блоки-полуфабрикаты, крупные камни); пиленые — из блоков-полуфабрикатов с последующей обработкой (облицо-

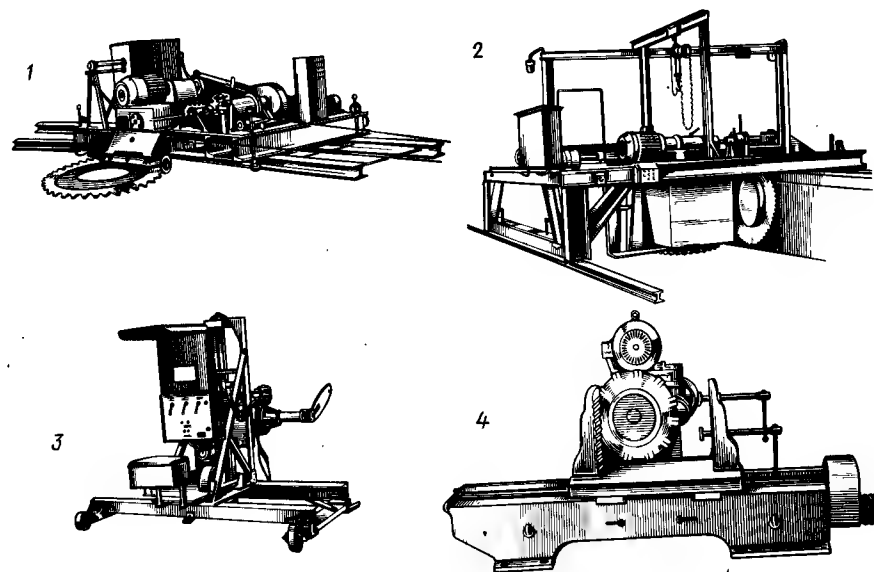


Рис. 2.8. Машины для разработки и обработки горных пород, камнерезные машины:

1 — СМ-428; 2 — СМ-177А; 3 — КМАЗ-188; 4 — фрезерный станок ЛТ-2

вочные плиты, цельные ступени, подоконные доски и т. п.); колотые — раскалыванием блоков с последующей обработкой (плиты и камни тесаные, бортовой камень, брусчатка и т. п.); грубоколотые — направленным раскалыванием блоков без последующей обработки (постелистый камень); рваные — взрыванием горной породы и отделением мелких фракций (бутовый камень); дробленые — дроблением горной породы с последующим разделением на фракции (щебень, песок искусственный); молотые — помолом горной породы (молотый минеральный порошок, каменная мука).

По характеру обработки поверхности камня, получаемого раскалыванием, различают следующие фактуры: «скала», рифленую, бороздчатую и точеную.

При обработке камня абразивами получают следующие фактуры: шлифованную, имеющую мелкошероховатую поверхность, лошеную гладкую, бархатисто-матовую поверхность с выявленным рисунком камня, зеркальную с гладкой поверхностью и зеркальным блеском.

Готовые изделия при перевозке следует предохранять от загрязнения и повреждений. Блоки для распиливания, крупные стеновые блоки, бортовые камни можно перевозить на открытых платформах без тары с укладкой правильными рядами на прокладках, предохраняя от повреждений. Облицовочные плиты перевозят закрепленными клиньями в прочной таре в вертикаль-

ном положении попарно, **лицевыми** поверхностями друг к другу, с прокладкой бумаги между ними. Плиты из изверженных пород можно перевозить без тары, установленными на ребро и разделенными деревянными прокладками.

Изготовление штучных камней и изделий, отделка их поверхности сопровождаются образованием большого количества мелких отходов, что удорожает себестоимость выпускаемых изделий. Рекомендуется организовывать их выпуск по комплексной безотходной технологии с переработкой мелких отходов на щебень и песок. Важнейшими направлениями развития камнеобработки работ по добыче, обработке и транспортировке блоков и плит, широкое внедрение высокопроизводительного оборудования с алмазным и твердосплавным инструментом. Крупные высокомеханизированные предприятия, оснащенные новейшим оборудованием с широким использованием алмазных инструментов, позволяют наиболее полно удовлетворять потребность строительства в облицовочных материалах.

§ 2.7. Материалы и изделия из природного камня

Природные каменные материалы, обладая высокой атмосферостойкостью, прочностью и красивой окраской, широко применяются в строительстве в виде блоков для кладки стен и фундаментов зданий и сооружений, в виде облицовочных плит и камней для наружных и внутренних стен зданий и сооружений, при строительстве дорог, тротуаров, набережных, подпорных стенок и других сооружений, к материалам которых предъявляются особые требования по прочности долговечности и декоративности.

В соответствии со СНиПом каменные материалы классифицируют по следующим признакам: *плотности* — обыкновенные (тяжелые) с плотностью 1800 кг/м^3 и более, легкие — менее 1800 кг/м^3 ; *пределу прочности при сжатии* — для обыкновенных $10...100 \text{ МПа}$, а для легких $0,4...20 \text{ МПа}$; *степени морозостойкости* — обыкновенные тяжелые имеют марки F15...500; легкие — F10...25; *степени водостойкости* (коэффициенту размягчения) — $0,6...1$.

Выбор горных пород для производства строительных материалов и изделий производят на основании результатов испытаний образцов из них и технико-экономического анализа, целесообразности использования данной породы в конкретных условиях.

● Для кладки фундаментов и стен подземных частей зданий применяют **бутовый**, **колотый** и **пиленный** камень из плотных изверженных, осадочных и метаморфических горных пород. Коэффициент размягчения камня, используемого для этих целей, должен быть не менее 0,7, морозостойкость — не ниже F15. В зависимости от формы бутовый камень бывает **рваный**, **посте-**

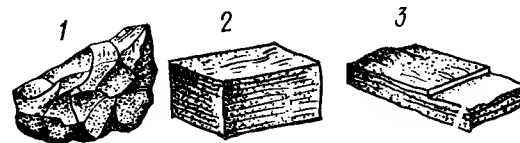


Рис. 2.9. Бутовый камень:
1 — рваный; 2 — постелистый; 3 — лещадный

листый и лещадный (рис. 2.9). Бутовый камень имеет размеры $150...500 \text{ мм}$.

Изделия и материалы, применяемые для кладки фундаментов и подземных стен, изготавливают из однородного камня, не имеющего следов выветривания, прослоек глины, а также расщелин и трещин. Для кладки надземных стен (устоев мостов, укреплений откосов насыпей и берегов рек, кладки подпорных стенок) и для дробления на щебень применяют пиленные и колотые штучные камни, получаемые из известняков, доломитов, песчаников, вулканических туфов.

Лицевая поверхность стеновых камней и крупных стеновых блоков должна отвечать требованиям декоративности. Известняки и туфы, применяемые для изготовления стеновых камней, должны иметь плотность $900...2200 \text{ кг/м}^3$, предел прочности при сжатии $0,4...50 \text{ МПа}$, морозостойкость не ниже F15, коэффициент размягчения $0,6...0,7$. Размеры стеновых камней $390 \times 190 \times 188$ и $490 \times 240 \times 188 \text{ мм}$.

Крупные стеновые блоки (рис. 2.10) изготавливают из горных пород с плотностью до 2200 кг/м^3 и пределом прочности при сжатии $2,5 \text{ МПа}$ и выше. Крупные стеновые блоки, предназначенные для механизированной укладки, имеют размеры от $300 \times 800 \times 900$ до $3000 \times 1000 \times 500 \text{ мм}$.

● Облицовочные плиты и камни, элементы лестниц и площадок, парапетов и ограждений изготавливают из блоков природного камня путем их распиливания или раскалывания с последующей механической обработкой. В зависимости от физико-механических свойств и строения исходной горной породы блоки делят на четыре группы: I — блоки из гранита, сиенита, диорита, лабрадорита, габбро, кварцита, базальта, диабазы; II — блоки из мрамора, брекчии и конгломератов, карбонатных пород и гипсового камня; III — блоки из известняка и песчаника; IV — блоки из вулканического туфа.

Горные породы, применяемые для изготовления блоков, должны иметь предел прочности при сжатии не менее 5 МПа , моро-

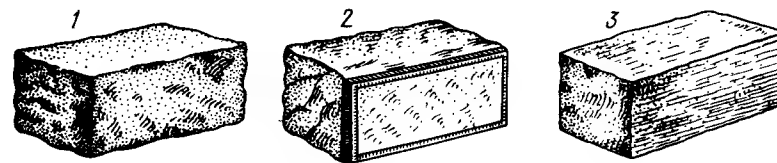


Рис. 2.10. Каменные стеновые блоки:
1 — колотый; 2 — тесаный; 3 — пиленный

зостойкость не менее F15, коэффициент размягчения 0,7...0,9. Размеры и объем блоков зависят от горной породы, из которой они изготовлены. Наименьший размер блоков из туфа 0,2...0,4 м³, наибольший 0,7...1,0 м³, а из гранита 0,5...3 м³.

Блоки, предназначенные для распиливания, не должны иметь сквозных трещин. Тонкие извилистые трещины, выходящие на две смежные грани, допускаются только в блоках из цветного мрамора.

Облицовочные плиты и камни изготовляют путем раскалывания или распиливания блоков-полуфабрикатов. Облицовочным плитам придают самую разнообразную фактуру лицевой поверхности: *зеркальную* (полированную), получаемую из плотных горных пород (гранита, лабрадорита, мрамора, мраморовидного известняка, брекчии, конгломерата) обработкой полировочным порошком с накаткой глянца; *лощеную* — обработкой шлифовальным порошком без накатки глянца на плитах, изготовленных из плотных горных пород, исключая гипсовый камень; *шлифовальную* — шлифованием абразивными инструментами лицевой поверхности плит, изготовленных из гранита, сиенита, лабрадорита, известняка, вулканического туфа и других горных пород; *пиленую* — распиливанием на канатных пилах или распиловочных станках с прямолинейным движением рамы; *точечную* — обработкой крестовой бучардой; *бороздчатую* — применением пластинчатой бучарды или катучей фрезы; *рифленую* — обработкой фрезой; фактуру «скала» — раскалыванием камня с дополнительным окомом лицевой грани по периметру.

Плиты, применяемые для настилки полов и облицовки стен, имеют прямоугольную форму и размеры в зависимости от породы и фактуры поверхности камня. Для фактуры «скала» изделия должны иметь толщину не менее 150 мм; для точечной, бороздчатой и рифленой фактуры — не менее 60 мм, а зеркальной поверхности — не менее 12 мм. Плиты изготовляют шириной 200...400 мм и длиной 300...1000 мм. Из более прочных пород плиты изготовляют больших, а из менее прочных — меньших размеров.

К профильным элементам облицовки стен относятся цокольные плиты и камни для обрамления порталов, пояски карнизов, угловые и подоконные плиты. Их изготовляют из тех же материалов, что и облицовочные плиты, и придают самую разнообразную фактуру лицевой поверхности.

Элементы лестниц и площадок, парапеты и ограждения делают из мрамора, известняка, туфа, гранита, сиенита и других горных пород. Так же как и облицовочным плитам, лицевой поверхности элементов лестниц и площадок, парапетов и ограждений придают самую разнообразную фактуру в зависимости от вида горной породы.

● При изготовлении различных художественных предметов народного потребления, выполнении мозаичных работ и высокодекоративных отделок монументальных зданий широко приме-

няют поделочный камень: яшму, родонит (орлец), лазурит, нефрит, малахит, янтарь и др. Необыкновенно обширная палитра красок, включающая практически все цвета спектра и бесконечно разнообразное количество оттенков, позволяет создавать из поделочного камня высокохудожественные произведения искусства. Многие его разновидности обладают выявляемым в разрезе после полировки природным рисунком и узором, чарующим своей фантастичностью, неповторимостью сюжета и необычностью сочетания красок.

Яшмы цветные и пестроцветные, зеленого и красного цветов, обладающие высокой твердостью и прочностью, представляют большой интерес. Встречается яшма на Урале, в Караганде, Крыму, Закарпатье и других местах.

Родонит (орлец) представляет собой мелкозернистую породу, обладающую широким диапазоном красных расцветок древовидного рисунка от бледно-розового до интенсивно красного. Орлец является полупрозрачным материалом. Благодаря значительным запасам этого камня в нашей стране его широко использовали при отделке станции «Маяковская» Московского метрополитена им. В. И. Ленина и других зданий.

Нефрит — природный камень зеленого цвета. Обладая высокой твердостью и вязкостью, он трудно поддается обработке, однако это же его свойство обеспечивает возможность добиться исключительных эффектов в результате получения тончайших узоров.

Лазурит от бледно-голубого до ярко-синего цвета с вкраплениями золотистого обладает сравнительно небольшой твердостью.

Янтарь желтый прозрачный имеет большую твердость. Известны случаи применения янтаря для отделки внутренних помещений дворцов.

Природный гипс от белого до голубого цвета является широко распространенным поделочным камнем. Низкая твердость гипсового камня позволяет легко изготовлять из него сложные скульптурные изделия для интерьеров зданий, а также применять его в качестве облицовочного материала, более экономичного, чем мрамор.

Поделочные камни применяют не только для отделки интерьеров общественных зданий, но и в различных областях техники.

● **Материалы и изделия для дорожного строительства** — бортовые камни, брусчатку, колотый или булыжный камень, щебень, песок и минеральный порошок — получают из изверженных и осадочных горных пород. Изверженные горные породы должны обладать следующими свойствами: предел прочности при сжатии глубинных горных пород — не менее 100, излившихся — не менее 60 МПа, коэффициент размягчения — не менее 0,9, водопоглощение — не более 1,0 %, морозостойкость — не менее F25, сопротивление удару — не менее 150 Н·см/см³, плотность — 2300 кг/м³ и более. Осадочные горные породы должны иметь плотность 2100 кг/м³, коэффициент размягчения не менее 0,75,

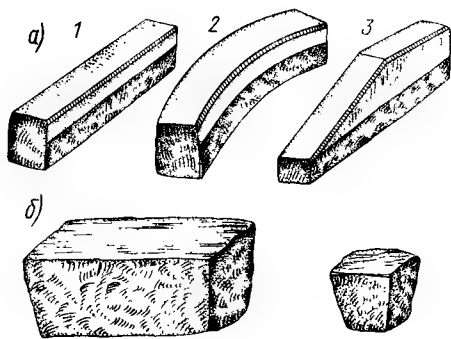


Рис. 2.11. Изделия для дорожного строительства:

а — бортовой камень; 1 — прямой; 2 — ленточный; 3 — для съездов; б — брусчатка

бортового камня, выступающая над дорожным покрытием, обтесана чисто, а нижняя часть — грубо. По размерам бортовой камень бывает низкий — 30 см и высокий — 40 см с шириной по верху 10, 15 и 20 см.

Брусчатка — колотые или тесаные бруски (рис. 2.11, б) высотой 10...16 см, шириной 12...15 см и длиной 15...25 см, по форме близки к параллелепипеду, а лицевая поверхность имеет форму прямоуглыльника. Предел прочности при сжатии исходной породы не ниже 100 МПа, водопоглощение не более 0,6%. Применяют при устройстве мостовых (особенно часто при крутых подъемах и спусках), трамвайного полотна, посадочных площадок трамвая и пр.

Колотый булыжный камень используют для укрепления откосов земляных покрытий и оснований. Колотый камень по форме близок к многогранной призме или усеченной пирамиде с площадью лицевой поверхности 100, 200 и 400 см² при соответствующей высоте 16, 20 и 30 см. Лицевая поверхность и постель выступов, препятствующих плотному примыканию к другому камню. Булыжный камень имеет овальную форму, его лицевая сторона должна быть больше поверхности постели. Размеры булыжного камня такие же, как и колотого камня.

● Для подземных сооружений и мостов применяют плиты и камни из изверженных и осадочных горных пород. Для облицовки туннелей и надводных частей мостов используют гранит, диорит, габбро, диабаз, базальт с пределом прочности при сжатии не ниже 100 МПа. Морозостойкость указанных горных пород для этих целей F150...500. При изготовлении облицовочных плит из плотного известняка или песчаника их прочность должна быть не ниже 60, а морозостойкость не менее F100. Для облицовки подводных частей мостов применяют изделия из гранита, диори-

водопоглощение не более 4%, морозостойкость не менее F25 и сопротивление удару 150 Н·см/см³. Горные породы не должны быть затронуты выветриванием.

Бортовые камни применяют для отделения проезжей части улиц от тротуаров, а также автомобильных дорог от тротуаров на уникальных мостах и в туннелях. По форме бортовой камень представляет собой брус (рис. 2.11, а) длиной 70...200 см с наклонной или вертикальной лицевой гранью в поперечном сечении. Верхняя часть

та, базальта и диабаза с пределом прочности при сжатии не менее 100 МПа и морозостойкостью не менее F150. Лицевые камни и облицовочные плиты для туннелей и мостов обрабатывают под фактуры «скала», бороздчатую или рифленую. Размеры и формы плит и камней устанавливают проектом.

Для гидротехнических сооружений применяют природные камни правильной или неправильной формы (рваные, обкатанные, колотые и пиленные, а также щебень), получаемые из изверженных, метаморфических или осадочных пород. Камни не должны иметь признаков выветривания, прослоек мягких пород — глины, гипса и других размокаемых и растворимых включений, а также рыхлых включений ракушек и видимых расслоений и трещин.

Камни для гидротехнического строительства, используемые для внутренней части набросанных плотин, могут быть из осадочных пород прочностью 60...80 МПа с коэффициентом размягчения не менее 0,7...0,8.

Каменные материалы проверяют на влияние веществ, растворенных в воде (морской, грунтовой, речной, болотной).

● **Жаростойкие и химически стойкие материалы и изделия** изготовляют из горных пород, не затронутых выветриванием. Для материалов и изделий, работающих в условиях высоких температур, используют хромит, базальт, диабаз, андезит, туф. Для защиты конструкций зданий от кислот (кроме плавиковой и кремнефтористоводородной) применяют облицовочные плиты из гранита, сиенита, диорита, кварцита, андезита, трахита, базальта, диабаза и кремнистого песчаника. Защита от щелочей достигается применением изделий из плотных известняков, доломитов, мрамора, магнезита и известкового песчаника. Для защиты от действия высокой температуры и агрессивных сред используют камни правильной формы и фасонные, плиты облицовочные и плиты для полов (гладкие и рифленые), камень, щебень и песок для бетонов и растворов, а также тонкоколотые порошки в качестве наполнителя для бетонов, растворов, мастик, замазок, шпаклевок и грунтовок.

Щебень получают дроблением различных горных пород до размера 5(3)...70 мм. Прочность щебня характеризуют маркой, соответствующей пределу прочности исходной горной породы при сжатии в насыщенном водой состоянии и определяемой по дробимости щебня при сжатии (раздавливании) в цилиндре. По этому показателю щебень подразделяется на марки: из изверженных пород — 1400, 1200, 1000, 800 и 600; из осадочных и метаморфических пород — 1200, 1000, 800, 600, 400, 300 и 200.

Щебень высшей категории качества должен иметь марку по прочности не ниже 600 для щебня из осадочных пород и не ниже 800 для щебня из изверженных и метаморфических пород.

Кроме того, щебень, предназначенный для строительства автомобильных дорог, характеризуется износом в полочном

барабане. По этому показателю установлено четыре марки щебня: И-I, И-II, И-III и И-IV.

В зависимости от назначения качество щебня определяют по следующим показателям: гранулометрическому составу, форме зерен, содержанию зерен слабых пород, наличию пылевидных и глинистых частиц, прочности и морозостойкости; кроме того, по петрографической характеристике плотности: истинной (без пор), средней (включая поры), насыпной (включая поры и межзерновые пустоты); пористости, пустотности и водопоглощению.

Гравий — это рыхлое скопление обломков горных пород размером 5(3)...70 мм, обкатанных в различной степени.

Песок — рыхлая масса, состоящая из зерен минералов и пород размером 0,16...5 мм. В зависимости от минералогического состава различают кварцевые, полевошпатовые, карбонатные пески. Применяют их для приготовления растворов и бетонов, для устройства оснований дорожных покрытий, дренажных сооружений.

● **Перевозка и хранение материалов и изделий из природного камня.** Облицовочные плиты, камни и другие изделия после их изготовления маркируют. Для этого на тыльной стороне облицовочной плиты или на торцевой части камней несмываемой краской указывают тип камня, плиты или блока, основные размеры (длину, ширину). На блоке, предназначенном для распиловки, также указывают объем его и наименование (шифр) карьера-изготовителя.

Изделия при перевозке следует предохранять от загрязнения и повреждений. Бутовый и валунный камень, щебень, брусчатку и колотый камень необходимо перевозить навалом или в контейнерах. Бутовый камень хранят в штабелях навалом по маркам и породам, а брусчатку — в штабелях по сортам и классам.

Блоки для распиливания, крупные стеновые блоки, бортовые камни разрешается перевозить на открытых платформах без тары с укладкой правильными рядами на подкладках и прокладках с учетом обеспечения предохранения от повреждений. Хранение их разрешается на открытых спланированных площадках, обеспечивающих отвод ливневых вод. Облицовочные плиты перевозят в прочной таре в вертикальном положении попарно, лицевыми поверхностями друг к другу, с прокладкой бумаги между ними и закрепленными клиньями. Плиты изверженных пород разрешается перевозить без тары, установленными на ребро и разделенными деревянными прокладками; хранить их можно на открытых складах. Плиты из мрамора, известняков и туфа хранят в закрытых складах.

§ 2.8. Методы защиты природных каменных материалов от разрушения

Разрушение каменных материалов может происходить под действием воды как растворителя. Особенно активно действует на карбонатные породы вода, содержащая углекислоту, серни-

стые и другие кислотные соединения. Каменные материалы разрушаются также при переменном действии воды и мороза. Если горная порода состоит из нескольких минералов, то разрушение ее может происходить от изменения температуры вследствие того, что коэффициент линейного расширения разных минералов не одинаков.

Горные породы разрушаются также от воздействия органических кислот. Частицы пыли неорганического и органического происхождения, являющиеся бытовыми или промышленными отходами города, оседают на поверхности и в порах камня; при смачивании их водой возникают бактериологические процессы с зарождением микроорганизмов, которые разрушают камень за счет образования органических кислот. Скорость разрушения горной породы зависит также от качества и структуры ее, выражающихся в наличии микротрещин, микрослоистости и размокающих и растворимых веществ.

Для защиты каменных материалов от разрушения необходимо прежде всего предотвратить проникновение воды и ее растворов в глубину материала, для этого применяют так называемое флюатирование. При обработке известняка флюатами (например, кремнефтористым магнием) образуются нерастворимые в воде соли, которые закрывают поры в камне и тем самым повышают его водонепроницаемость и атмосферостойкость.

От воздействия углекислоты и образования сульфатов облицовочные камни предохраняют путем пропитки их на глубину до 1 см горячим льняным маслом. Для предохранения от проникновения воды поверхность камня покрывают слоем раствора воска в скипидаре, парафина в легком нефтяном дистилляте или каменноугольном дегте. Защищают каменные материалы от разрушения также конструктивными мерами, например путем образования хорошего стока воды с поверхности камня, придания камню гладкой поверхности и т. д.

§ 2.9. Экономика производства и применения природных каменных материалов и изделий

Наличие природных ресурсов и уровень развития сырьевых отраслей — важный фактор, определяющий экономическую мощь народного хозяйства. СССР располагает разнообразными ресурсами минерального сырья и топлива, большими запасами нерудных ископаемых и гидроэнергетических ресурсов, лесного сырья. В СССР имеются фактически неограниченные запасы нерудных ископаемых для производства различных строительных материалов и изделий.

О значении нерудных строительных материалов в широкой индустриализации строительства, осуществляемой в нашей стране, можно судить по следующим данным. В общем весе сооружаемых объектов масса материалов и конструкции, получаемых на основе минерального нерудного сырья, составляет в среднем 70%, достигая для некоторых объектов 90%.

Производство нерудных строительных материалов, насчитывающее около 6 тыс. предприятий, организовано во всех экономических районах страны и в связи с ростом выпуска бетона и сборного железобетона развивается быстрыми темпами. Известно, что лишь за период 1980—1985 гг. суммарный объем производства сборного и монолитного бетона и железобетона возрос до 270 млн. м³, причем опережающими темпами увеличивается производство сборных железобетонных конструкций, а среди последних — спецжелезобетона, для изготовления которого требуются заполнители мелких фракций.

Изменение структуры производства и применения железобетонных конструкций обусловило опережающее развитие производства щебня и гравия мелких фракций, удельный вес которых возрос с 8% в 1955 г. примерно до 20...25% в настоящее время. На развитие производства нерудных строительных материалов требуются большие единовременные затраты.

Кратко рассмотрим технико-экономическое состояние промышленности по переработке природного камня по основным видам — заполнители для бетона, материал для стен (пыльный камень) и облицовочные материалы.

● Затраты на **заполнители** в общей себестоимости железобетонных изделий составляют в СССР около 20%. Такая высокая стоимость щебня, гравия и песка обусловлена невысоким уровнем механизации производственных процессов и низким коэффициентом извлечения полезного продукта из горной массы. За последние годы достигнуто значительное снижение себестоимости нерудных строительных полезных ископаемых за счет внедрения комплексной механизации, ликвидации мелких карьеров, обуславливающих низкое использование основного оборудования (экскаваторов, самосвалов, автопогрузчиков), внедрения прогрессивных технологических методов добычи, например гидромеханизации. Достигнуто значительное снижение транспортных расходов на перевозку нерудных строительных материалов за счет улучшения размещения заводов сборного железобетона и карьеров нерудных ископаемых, а также в результате использования в качестве транспортных средств более эффективных автомобилей грузоподъемностью свыше 5 т.

Помимо транспортных затрат и затрат по добыче важное место в общей себестоимости нерудных строительных материалов занимают работы по дроблению, фракционированию, выработке мелких фракций, организации процессов мойки и обогащений. Низкое качество заполнителей для бетона (песка, гравия, щебня) влечет за собой значительный перерасход цемента, повышенный процент брака, увеличение трудоемкости в производстве железобетонных изделий и конструкций, кладочных, монтажных и штукатурных работ. В связи с этим щебень, гравий и песок на заводы железобетонных изделий должны поступать отсортированными по фракциям, без глинистых и других засоряющих примесей.

На себестоимость продукции в промышленности нерудных строительных материалов оказывает влияние ряд факторов, прежде всего техническая оснащенность предприятий, совершенство технологии, условия добычи ископаемых и др. Значительные резервы снижения себестоимости и удельных капитальных вложений заключены в применении новых, более совершенных технологических методов и, в частности, метода гидромеханизации.

По сравнению с сухим способом добычи нерудных ископаемых гидромеханизация позволяет снизить удельные капитальные вложения примерно на 20...25%; себестоимость — на 30...35% и сократить сроки строительства примерно на $\frac{1}{3}$. Значительное снижение себестоимости продукции на гидромеханизированных предприятиях объясняется непрерывностью технологического процесса, сокращением численности обслуживающего персонала, попутной, без затрат, промывкой песка и снижением амортизационных отчислений вследствие меньших удельных капитальных вложений.

Большое влияние на технико-экономические показатели разработки нерудных материалов оказывают горно-геологические условия (величина запасов, мощность пласта полезного ископаемого, глубина залегания, плотность и крепость породы, ее химический и минералогический составы и др.).

При добыче природного пыльного камня открытым способом разработки при коэффициенте вскрыши 0,3, коэффициенте извлечения полезного продукта из горной массы 0,4 и механической прочности камня 5 МПа для карьера годовой мощностью 100 тыс. м³ удельные капитальные вложения составляют 35 руб/м³. При увеличении коэффициента вскрыши на 0,1 удельные капитальные вложения возрастают на 30...50%; при уменьшении выхода полезного продукта из горной массы до 0,2 удельные капитальные вложения возрастают на 25%, а при росте выхода полезного продукта снижаются на 20% и т. д., отсюда исключительно важно выбрать наиболее эффективные месторождения с максимально благоприятными горно-геологическими условиями.

В настоящее время более 30% заводов сборного железобетона применяют заполнители, не удовлетворяющие требованиям стандарта по гранулометрическому составу и содержанию пылевидных частиц. Вместе с тем, по расчетам НИИЦемент, на каждый процент запыленности заполнителя (в пределах до 12%) расход цемента возрастает от 1 до 1,5%. Дополнительный перерасход цемента вызывается также недостатками гранулометрического состава заполнителей. Выпуск фракционированных заполнителей позволяет снизить расход цемента в бетоне примерно на 13...15% и повысить качество бетона. Капитальные вложения на дополнительную обработку щебня и гравия в связи с усложнением технологической схемы производства являются значительными. Они экономически оправданы, поскольку от качества

нерудных непосредственно зависят качество и стоимость возведенных зданий и сооружений.

Увеличение степени концентрации производства является одним из решающих факторов снижения удельных капитальных вложений в промышленности нерудных строительных материалов. Рост степени концентрации производства происходит на основе внедрения нового высокопроизводительного оборудования — горно-транспортных агрегатов непрерывного действия, новых типов станков ударно-канатного бурения, мощных экскаваторов и земснарядов, автосамосвалов большой грузоподъемности, эффективных видов безрельсового транспорта, щековых дробилок крупного дробления, одно- и двухроторных дробилок ударного действия и т. п.

Одним из факторов, обеспечивающих улучшение качества продукции и снижение ее стоимости, является дальнейшее совершенствование автоматизации производственных процессов дробильно-сортировочных заводов, а также контроль качества выпускаемой продукции. В настоящее время разработана система автоматического регулирования режима работы конусной дробилки.

Система включает устройства для изменения размера разгрузочной щели конусной дробилки, разгрузочной щели с автоматическим управлением и стопорения регулирующего кольца конусной дробилки. Эта система обеспечивает получение заданного массового соотношения фракций продуктов дробления или заданного зернового состава по среднему диаметру куска на выходе дробилки; увеличивает до 20% выход щебня мелких фракций (5...10 и 10...20 мм) за счет сохранения постоянного размера разгрузочной щели дробилки при износе дробящих поверхностей конусов; обеспечивает автоматическое регулирование размера щели при поступлении в дробилку исходного материала с различными физико-механическими свойствами; позволяет повысить производительность дробилки на 15...20% за счет снижения коэффициента циркуляции.

Снижение себестоимости щебня получено также от внедрения системы автоматического регулирования загрузки щековой дробилки. Эта система обеспечивает автоматическое поддержание любого заданного уровня загрузки горной массы рабочей камеры дробилки, что создает благоприятные условия для работы всего технологического оборудования.

Разработана и внедрена на дробильно-сортировочном заводе Сокского карьероуправления Куйбышевской области автоматическая станция контроля качества щебня по содержанию отмучиваемых примесей (АСК-8), с помощью которой можно не только оперативно определять в лабораториях качество заполнителя бетонных и дробильно-сортировочных заводов, но она может служить датчиком в системах автоматического контроля и регулирования процессов промывки щебня, гравия и других сыпучих материалов.

В основу работы станции положен принцип отмучивания глинистых и пылевидных частиц под действием выпрямленного электрического тока с последующим измерением плотности образовавшейся суспензии фотоэлектрическим компенсационным методом. Применение автоматической станции контроля качества щебня по содержанию отмучиваемых примесей примерно в 40 раз повышает производительность, позволяет своевременно выявить брак продукции дробильно-сортировочных заводов и снизить перерасход цемента на бетонных заводах.

Наконец, улучшение показателей эффективности капитальных вложений может быть достигнуто в результате более широкого использования передвижных механизированных предприятий нерудных строительных материалов. В настоящее время этими предприятиями обеспечивается лишь 5...6% потребности отдаленных районов, причем передвижные предприятия оснащены таким же оборудованием, которое предназначено для стационарных заводов. В то же время в США более 1/3 щебня выработано на передвижных заводах, характеризующихся высоким уровнем комплексной механизации при сравнительно небольших удельных капитальных вложениях. По расчетным данным, использование передвижных предприятий позволит снизить себестоимость щебня в ряде районов до 4...5 руб/м³, а также обеспечить снижение удельных капитальных вложений примерно на 2 руб/м³ производственной мощности.

В последние годы по песку и гравиям имеет место рост себестоимости производства, что объясняется повышением качества нерудных, увеличением выпуска более дорогого в производстве, но эффективного в применении промытого и классифицированного заполнителя. Вместе с тем такое положение свидетельствует о больших резервах возможного снижения себестоимости нерудных строительных материалов усовершенствованием технологии промывки и обогащения.

Значительными темпами в последние 7...8 лет развивается производство природных легких заполнителей — на базе туфов, вулканических шлаков и пемзы (главным образом в Армянской ССР). Вулканические шлаки и пемза имеют плотность 400...900 кг/м³, что обеспечивает получение теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных бетонов. Возможно использование шлаков и пемзы в качестве компонента для тепло- и звукоизоляционных и жароупорных изделий, а также активной минеральной добавки к вяжущим и наполнителя пластмасс. В 1980 г. было добыто 6,4 млн. м³ шлаковых и пемзовых заполнителей естественного происхождения.

● Важным резервом покрытия дефицита и экономии искусственных стеновых материалов является развитие производства легких камней для стен из природного камня. Общие запасы его по СССР составляют более 1,3 млрд. м³, в том числе в Молдавии — 0,55, на Украине — 0,3, в Азербайджане — 0,2 млрд. м³. Себестоимость 1 м³ природного стенового камня намного ниже,

чем керамического кирпича, поэтому в ряде районов целесообразно применять природные каменные стеновые материалы и обеспечивать ими потребности строительства. Однако при радиусе перевозки природных стеновых каменных материалов, большем 350...400 км, их эффективность падает в связи с ростом транспортных расходов. Удельные капитальные вложения на организацию добычи пильного камня в зависимости от местных условий в 1...2 раза меньше, чем по кирпичу.

● В ряде случаев оказывается весьма эффективным применение в общественных и жилых зданиях облицовочных материалов из природного камня — туфов, известняков, гранитов, габбро, мрамора и других декоративных пород. Высокая долговечность этих облицовок обеспечивает незначительный уровень затрат на эксплуатацию — в 5...8 раз меньший, чем на отделку зданий цветными растворами и бетонами, а также силикатными и известковыми красками. В 1985 г. было выпущено более 60 млн. м² этих облицовок. Расчеты показывают, что при производстве туфовых облицовочных плит на заводе мощностью 1 млн. м² плит в год, оснащенном станками с алмазным инструментом, себестоимость 1 м² готовой плиты составит в зависимости от типа туфа примерно 1 руб. Благодаря теплообработке гранита себестоимость 1 м² бортового камня составит 1,3...1,5 руб., а по менее долговечному и менее декоративному бетонному бортовому камню — 1,8...2,4 руб. Потребность строительства в облицовочном камне с каждым годом увеличивается. Удовлетворение ее возможно лишь на основе строительства крупных высокомеханизированных предприятий, оснащенных новейшим оборудованием с широким использованием алмазных инструментов.

ГЛАВА 3 КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

● Керамические материалы получают из глиняных масс путем формования и последующего обжига. При этом часто имеет место промежуточная технологическая операция — сушка свежеформованных изделий, называемых «сырцом».

По характеру строения черепка различают керамические материалы пористые (неспекшиеся) и плотные (спекшиеся). Пористые поглощают более 5% воды (по массе), в среднем их водопоглощение составляет 8...20% по массе. Пористую структуру имеют кирпич, блоки, камни, черепица, дренажные трубы и др.; плотную — плитки для полов, канализационные трубы, санитарно-технические изделия.

По назначению керамические материалы и изделия делят на следующие виды: *стеновые* — кирпич обыкновенный, кирпич и камни пустотелые и пористые, крупные блоки и панели из кирпича и камней; для *перекрытия* — пустотелые камни, балки и панели из пустотелых камней; для *наружной облицовки* — кирпич и камни керамические лицевые, ковровая керамика, облицовочные керамические фасадные; для *внутренней облицовки и оборудования зданий* — плиты и плитки для стен и полов, санитарно-технические изделия; *кровельные* — черепица; *трубы* — дренажные и канализационные.

Универсальность свойств, широкий ассортимент, высокая прочность и долговечность керамических изделий позволяют широко использовать их в самых разнообразных конструкциях зданий и сооружений: для стен, тепловых агрегатов, в качестве облицовочного материала для полов и стен, в виде труб для сетей канализации, для облицовки аппаратов химической промышленности, в качестве легких пористых заполнителей для сборных железобетонных изделий.

§ 3.1. Сырьевые материалы

Сырьем для изготовления керамических материалов служат различные глинистые горные породы. Для улучшения технологических свойств глин, а также придания изделиям определенных и более высоких физико-механических свойств к глинам добавляют кварцевый песок, шамот (дробленая обожженная при температуре 1000...1400°C огнеупорная или тугоплавкая глина), шлак, древесные опилки, угольную пыль.

Глиняные материалы образовались в результате выветривания изверженных полевошпатовых горных пород. Процесс выветривания горной породы заключается в механическом разруше-

нии и химическом разложении. Механическое разрушение происходит в результате воздействия переменной температуры и воды. Химическое разложение происходит, например, при воздействии на полевой шпат воды и углекислоты, в результате чего образуется минерал каолинит.

● **Глиной называют землистые минеральные массы или обломочные горные породы, способные с водой образовывать пластичное тесто, по высыхании сохраняющее приданную ему форму, а после обжига приобретающее твердость камня.** Наиболее чистые глины состоят преимущественно из каолинита и называются каолинами. В состав глин входят различные оксиды (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , MgO и K_2O), свободная и химически связанная вода и органические примеси.

Большое влияние на свойства глины оказывают примеси. Так, при повышенном содержании SiO_2 , не связанного с Al_2O_3 , в глинистых минералах уменьшается связующая способность глин, повышается пористость обожженных изделий и снижается их прочность. Соединения железа, являясь сильными плавнями, понижают огнеупорность глины. Углекислый кальций уменьшает огнеупорность и интервал спекания, увеличивает усадку при обжиге и пористость, что уменьшает прочность и морозостойкость. Оксиды Na_2O и K_2O понижают температуру спекания глины.

Глины характеризуются пластичностью, связностью и связующей способностью, отношением к сушке и к действию высоких температур.

● **Пластичностью глины называют ее свойство образовывать при затворении водой тесто, которое под действием внешних усилий способно принимать заданную форму без образования разрывов и трещин и сохранять эту форму при последующей сушке и обжиге.**

Пластичность глины характеризуют числом пластичности

$$P = \omega_t - \omega_p,$$

где ω_t и ω_p — значения влажности, соответствующие пределу текучести и пределу раскатывания глиняного жгута, %.

По пластичности глины разделяют на высокопластичные ($P > 25$), среднепластичные ($P = 15 \dots 25$), умереннопластичные ($P = 7 \dots 15$), малопластичные ($P < 7$) и непластичные. Для производства керамических изделий обычно применяют умереннопластичные глины с числом пластичности $P = 7 \dots 15$. Малопластичные глины плохо формуются, а высокопластичные растрескиваются при сушке и требуют отощения.

В производстве обжиговых материалов наряду с глинами используются диатомиты, трепелы, сланцы и др. Так, в производстве легкого кирпича и изделий применяют диатомиты и трепелы, а для получения пористых заполнителей — вспучивающиеся глины, перлит, вермикулит.

На многих керамических заводах отсутствует сырье, при-

годное в естественном виде для изготовления соответствующих изделий. Такое сырье требует введения добавок. Так, добавляя к пластичным глинам отощающие добавки до 6...10% (песок, шлак, шамот и др.), можно уменьшить усадку глины при сушке и обжиге. Большое влияние на связующую способность глин и их усадку оказывают фракции меньше 0,001 мм.

Чем больше содержание глинистых частиц, тем выше пластичность. Пластичность можно повысить добавлением высокопластичных глин, а также введением поверхностно-активных веществ — сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ) и др. Понизить пластичность можно добавлением непластичных материалов, называемых отощителями, — кварцевого песка, шамота, шлака, древесных опилок, крошки угля.

● **Глины, содержащие повышенное количество глинистых фракций, обладают более высокой связностью, и, наоборот, глины с небольшим содержанием глинистых частиц имеют малую связность.** С увеличением содержания песчаных и пылевидных фракций понижается связующая способность глины. Это свойство глины имеет большое значение при формовании изделий. Связующая способность глины характеризуется возможностью связывать частицы непластичных материалов (песка, шамота и др.) и образовывать при высыхании достаточно прочное изделие заданной формы.

● **Усадкой называют уменьшение линейных размеров и объема при сушке образца (воздушная усадка) и обжиге (огневая усадка).** Воздушная усадка происходит при испарении воды из сырца в процессе его сушки. Для различных глин линейная воздушная усадка колеблется от 2...3 до 10...12% в зависимости от содержания тонких фракций. Огневая усадка происходит из-за того, что в процессе обжига легкоплавкие составляющие глины расплавляются и частицы глины в местах их контакта сближаются. Огневая усадка в зависимости от состава глин бывает 2...8%. Полная усадка равна алгебраической сумме воздушной и огневой усадок, она колеблется в пределах 5...18%. Это свойство глин учитывают при изготовлении изделий необходимых размеров.

Характерным свойством глин является их способность превращаться при обжиге в камневидную массу. В начальный период повышения температуры начинает испаряться механически примешанная вода, затем выгорают органические примеси, а при нагревании до 550...800°C происходит дегидратация глинистых минералов и глина утрачивает свою пластичность.

● **При дальнейшем повышении температуры осуществляется обжиг — начинает расплавляться некоторая легкоплавкая составная часть глины, которая, растекаясь, обволакивает нерасплавившиеся частицы глины, при охлаждении затвердевает и цементирует их.** Так происходит процесс превращения глины в камневидное состояние. Частичное плавление глины и действие сил поверхностного натяжения расплавленной массы вызывают

сближение ее частиц, происходит сокращение объема — огневая усадка.

● Совокупность процессов усадки, уплотнения и упрочнения глины при обжиге называют спеканием глины. При дальнейшем повышении температуры масса размягчается — наступает плавление глины.

На цвет обожженных глин оказывает влияние главным образом содержание оксидов железа, которые окрашивают керамические изделия в красный цвет при наличии избытка в печи кислорода или в темно-коричневый и даже черный при недостатке кислорода. Оксиды титана вызывают синеватую окраску черепка. Для получения белого кирпича обжиг ведут в восстановительной среде (при наличии свободных СО и Н₂ в газах) и при определенных температурах, чтобы оксид железа перевести в закись.

§ 3.2. Общая технологическая схема производства керамических изделий

Несмотря на обширный ассортимент керамических изделий, разнообразие их форм, физико-механических свойств и видов сырьевого материала, основные этапы производства керамических изделий являются общими и состоят из следующих операций: добычи сырьевых материалов, подготовки сырьевой массы, формования изделий (сырца), сушки сырца, обжига изделий, обработки изделий (обрезки, глазурирования и пр.) и упаковки.

● Добычу сырья осуществляют на карьерах открытым способом — экскаваторами. Транспортировку сырья от карьера к заводу производят автосамосвалами, вагонетками или транспортерами при небольшой удаленности карьера от цеха формовки. Заводы по производству керамических материалов, как правило, строят вблизи месторождения глины, и карьер является составной частью завода.

● Подготовка сырьевых материалов состоит из разрушения природной структуры глины, удаления или измельчения (рис. 3.1) крупных включений, смешения глины с добавками и увлажнения до получения удобоформируемой глиняной массы.

● Формование керамической массы в зависимости от свойств исходного сырья и вида изготавливаемой продукции осуществляют полусухим, пластическим и шликерным (мокрым) способами. При полусухом способе производства глину вначале дробят и подсушивают, затем измельчают и с влажностью 8...12% подают на формование. При пластическом способе формования глину дробят, затем направляют в глиносмеситель (рис. 3.2), где она перемешивается с отощающими добавками до получения однородной пластичной массы влажностью 20...25%. Формование керамических изделий при пластическом способе осуществляют преимущественно на ленточных прессах. При полусухом способе

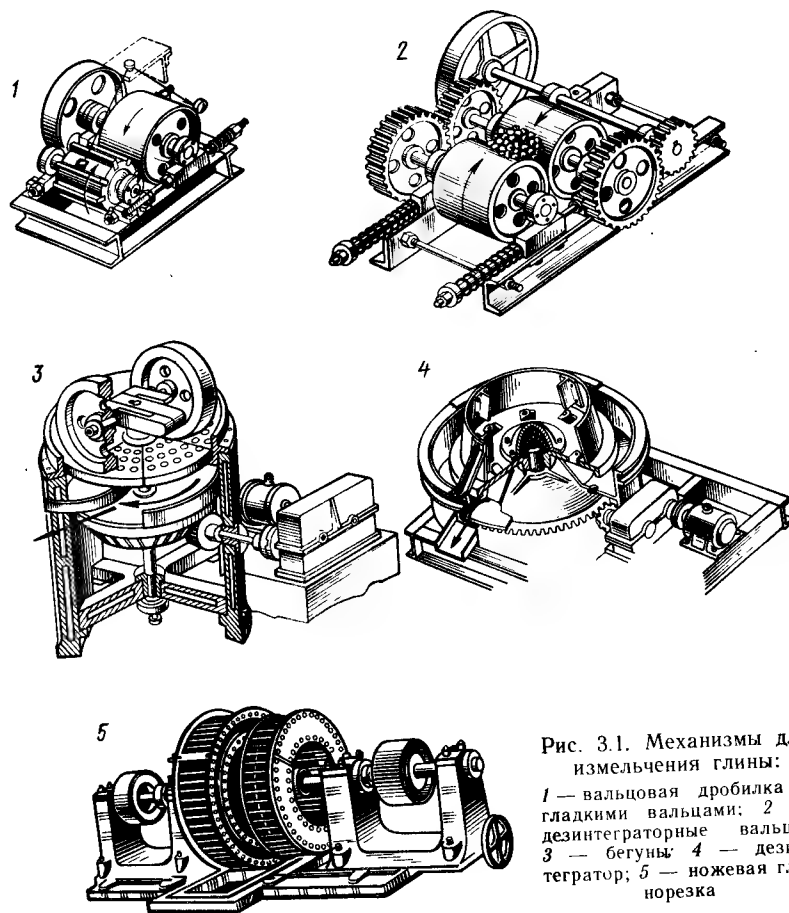


Рис. 3.1. Механизмы для измельчения глины:

1 — вальцовая дробилка с гладкими вальцами; 2 — дезинтеграторные вальцы; 3 — бегуны; 4 — дезинтегратор; 5 — ножевая глинорезка

глиняную массу формируют на гидравлических или механических прессах под давлением до 15 МПа и более. По шликерному способу исходные материалы измельчают и смешивают с большим количеством воды (до 60%) до получения однородной массы — шликера. В зависимости от способа формования шликер используют как непосредственно для изделий, получаемых способом литья, так и после его сушки в распылительных сушилках.

Современный период развития производства строительной керамики характеризуется интенсификацией технологических процессов, комплексной механизацией, конвейеризацией и автоматизацией производства. В этой связи важную роль отводят разработке новой технологии получения пресс-порошка в распылительных сушилах, сущность которой заключается в совмещении процессов обезвоживания, дробления и сепарации. Сушильная камера представляет собой металлический цилиндр,

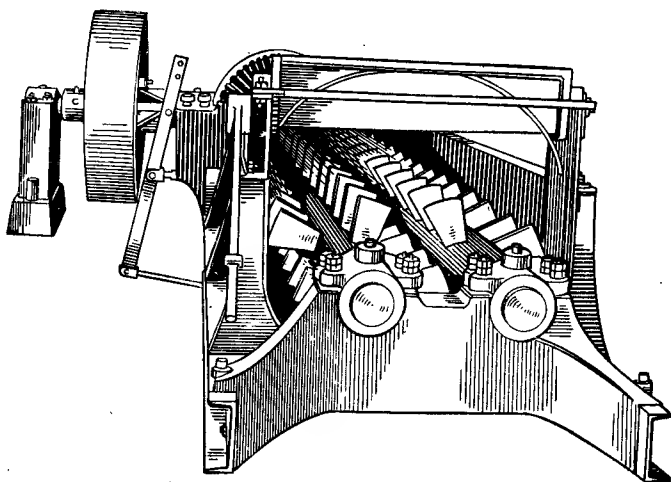


Рис. 3.2. Глиносмеситель

заканчивающийся внизу конусом, который служит для сбора готового продукта. Отличительными особенностями сушила являются распыление керамической суспензии пучком форсунок при давлении 1,0...1,2 МПа и снижение давления газа внутри сушильной башни. В СССР эксплуатируются распылительные сушила Минского комбината строительных материалов и НИИ-стройкерамики (рис. 3.3). Обезвоживание керамических масс в распылительных сушилах позволило в 3,5 раза повысить производительность труда и в 1,5 раза сократить капитальные затраты.

● Обязательной промежуточной операцией технологического процесса производства керамических изделий по пластическому способу является сушка. Если же сырец, имеющий высокую влажность, сразу после формования подвергнуть обжигу, то он растрескивается. При сушке сырца искусственным способом в качестве теплоносителя используют дымовые газы обжигательных печей, а также специальных топок. При изготовлении изделий тонкой керамики применяют горячий воздух, образующийся в калориферах. Искусственную сушку производят в камерных сушилах периодического действия или туннельных сушилах (рис. 3.4) непрерывного действия.

● Процесс сушки представляет собой комплекс явлений, связанных с тепло- и массообменом между материалом и окружающей средой. В результате происходит перемещение влаги из внутренней части изделий на поверхность и испарение ее. Одновременно с удалением влаги частицы материала сближаются и происходит усадка. Уменьшение объема глиняных изделий при сушке происходит до определенного предела, несмотря на то, что вода к этому моменту полностью еще не испарилась. Для получения высококачественных керамических изделий про-

цессы сушки и обжига должны осуществляться в строгих режимах. При нагревании изделия в интервале температур 0...150°C из него удаляется гигроскопическая влага. При температуре 70°C давление водяных паров внутри изделия может достигнуть значительной величины, поэтому для предупреждения трещин температуру следует поднимать медленно (50...80°C/ч), чтобы скорость порообразования внутри материала не опережала фильтрации паров через ее толщу.

● Обжиг является завершающей стадией технологического процесса. В печь сырец поступает с влажностью 8...12%, и в начальный период происходит его досушивание. В интервале температур 550...800°C идет дегидратация глинистых минералов и удаление химически связанной конституционной воды. При этом разрушается кристаллическая решетка минерала и глина теряет пластичность, в это время происходит усадка изделий.

При температуре 200...800°C выделяется летучая часть органических примесей глины и выгорающих добавок, введенных в состав шихты при формовании изделий, и, кроме того, окисляются органические примеси в пределах температуры их воспламенения. Этот период характерен весьма высокой скоростью подъема температур — 300...350°C/ч, а для эффективных изделий — 400...450°C/ч, что способствует быстрому выгоранию топлива, запрессованного в сырец. Затем изделия выдерживают при этой температуре в окислительной атмосфере до полного выгорания остатков углерода.

Дальнейший подъем температуры от 800°C до максимальной связан с разрушением кристаллической решетки глинистых минералов и значительным структурным изменением черепка, поэтому скорость подъема температуры замедляют до 100...150°C/ч, а для пустотелых изделий — до 200...220°C/ч. По достижении максимальной температуры обжига изделие выдерживают для выравнивания температуры по всей толщине, после чего температуру снижают на 100...150°C, в результате изделие претерпевает усадку и пластические деформации.

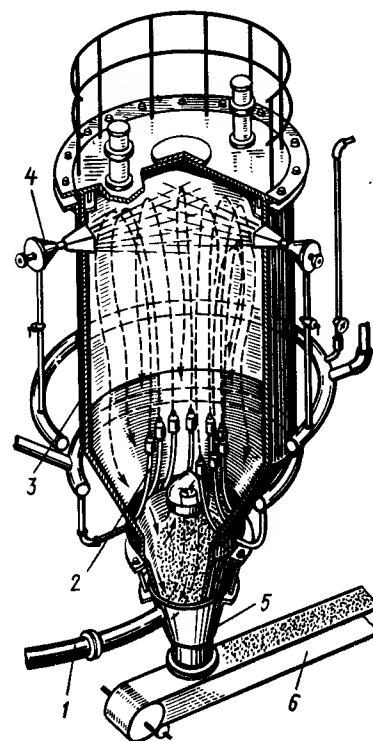


Рис. 3.3. Распылительное сушило:
1 — кольцевой массопровод; 2 — форсунки; 3 — распылительное сушило; 4 — инжекционные горелки; 5 — пресс-порошок, удаляемый через патрубков; 6 — транспортер

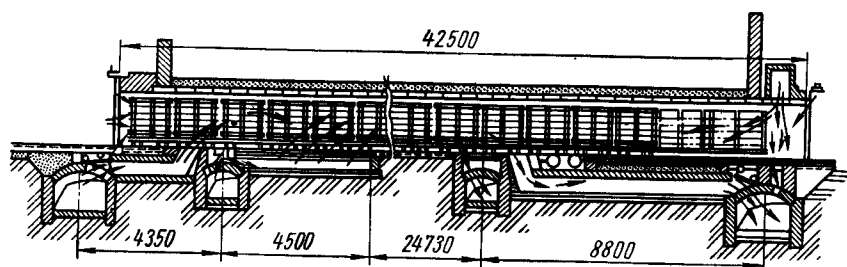


Рис. 3.4. Туннельное сушило

Затем интенсивность охлаждения при температуре ниже 800°C увеличивается до $250\ldots 300^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ и более. Ограничением спада температуры могут служить лишь условия внешнего теплообмена. При таких условиях обжиг кирпича можно осуществить за $6\ldots 8$ ч. Однако в обычных туннельных печах скоростные режимы обжига не могут быть реализованы из-за большой неравномерности температурного поля по сечению обжигаемого канала. Изделия из легкоплавких глин обжигают при температуре $900\ldots 1100^{\circ}\text{C}$. В результате обжига изделие приобретает камневидное состояние, высокие водостойкость, прочность, морозостойкость и другие ценные строительные качества.

§ 3.3. Стеновые материалы

В настоящее время в нашей стране выпуск стеновых керамических материалов составляет более 86 млрд. шт. условного кирпича в год (размером $250 \times 120 \times 65$ мм), в том числе эффективного кирпича 10%; намечается увеличить выпуск эффективной керамики до $25\ldots 30\%$.

Стеновые каменные материалы классифицируются по виду изделий, назначению, виду применяемого сырья и способу изготовления, а также по плотности, теплопроводности и прочности при сжатии и изгибе.

По виду изделий стеновые каменные материалы делят на три группы: 1) кирпич керамический и силикатный, из трепелов и диатомитов, полнотелый и пустотелый массой до 4,4 кг; 2) камни керамические, силикатные, бетонные, пустотелые и полнотелые, из горных пород массой не более 16 кг; 3) мелкие блоки керамические, силикатные, бетонные, пустотелые и полнотелые из горных пород массой не более 40 кг.

По назначению различают стеновые каменные материалы рядовые — для кладки наружных и внутренних стен и лицевые — для облицовки стен зданий и сооружений.

По виду применяемого сырья и способу изготовления керамические стеновые материалы подразделяют на изделия, изго-

товляемые методом пластического или полусухого прессования из глины, трепела, диатомита и другого сырья, образующего при обжиге спекшийся черепок.

По теплотехническим свойствам и плотности кирпич и камни делят на три группы: 1) эффективные с высокими теплотехническими свойствами, позволяющими уменьшить толщину стен по сравнению с толщиной стен, выполненных из обыкновенного кирпича; к этой группе относятся кирпич плотностью до $1400 \text{ кг}/\text{м}^3$ и камни плотностью не более $1450 \text{ кг}/\text{м}^3$; 2) условно эффективные, улучшающие теплотехнические свойства ограждающих конструкций; к этой группе относятся кирпич плотностью свыше $1400 \text{ кг}/\text{м}^3$ и камни плотностью $1450\ldots 1600 \text{ кг}/\text{м}^3$; 3) обыкновенный кирпич плотностью свыше $1600 \text{ кг}/\text{м}^3$.

● **Кирпич керамический** сплошной и пустотелый пластического и полусухого прессования представляет собой искусственный камень, изготовленный из глины с добавками или без них и обожженный. По внешнему виду кирпич должен иметь форму прямоугольного параллелепипеда с прямыми ребрами и углами и с ровными гранями. Кирпич изготавливают одинарным размером $250 \times 120 \times 65$ мм и утолщенный $250 \times 120 \times 88$ мм. Модульный кирпич с технологическими пустотами выполняют размером $288 \times 138 \times 63$ мм. Кирпич можно изготавливать сплошным или пустотелым, а камни — только пустотелыми.

Кирпич пустотелый с круглыми или прямоугольными пустотами, вертикально расположенный по отношению к постели, выпускают девяти видов с количеством пустот $2\ldots 60$ и пустотностью $10\ldots 33\%$. Кирпич с горизонтальным расположением пустот производят трех видов с четырьмя или шестью сквозными прямоугольными отверстиями в один или два ряда и пустотностью $41\ldots 42\%$.

● **Камни керамические** с вертикальным расположением пустот производят шести видов с $7\ldots 38$ отверстиями и пустотностью $25\ldots 37\%$. Камни керамические с горизонтальным расположением пустот изготавливают трех видов с количеством пустот 3, 7 и 11 и соответственно пустотностью 17, 56 и 53%. Камни керамические выпускают четырех типоразмеров: камень $250 \times 120 \times 138$ мм; камень модульный $288 \times 138 \times 138$ мм; камень укрупненный $250 \times 250 \times 138$ мм; камни с горизонтальным расположением пустот $250 \times 200 \times 80$ мм.

В зависимости от предела прочности при сжатии кирпич и камни производят марок 300, 250, 200, 175, 150, 125, 100 и 75; по морозостойкости — марок F 15, 25, 35 и 50.

Условное обозначение кирпича и камней записывают в следующем виде: кирпич керамический рядовой полнотелый M100, плотностью $1650 \text{ кг}/\text{м}^3$ и морозостойкостью F15 — кирпич КР 100/1650/15/ГОСТ 530—80; кирпич керамический рядовой пустотелый M150, плотностью $1480 \text{ кг}/\text{м}^3$ и морозостойкостью F 25 — кирпич КРП 150/1480/25/ГОСТ 530—80; камень керамический рядовой пустотелый эффективный укрупненный M150,

плотностью 1320 кг/м³ и морозостойкостью F35 — камень КРПЭУ 150/1320/35/ГОСТ 530—80.

Кирпич и камни должны иметь форму прямоугольного параллелепипеда с ровными гранями на лицевых поверхностях. Поверхность граней может быть рифленая, а углы закруглены радиусом до 15 мм. Пустоты в кирпиче и камнях располагаются перпендикулярно или параллельно постели, они могут быть сквозными или несквозными. Толщина наружных стенок кирпича и камней должна быть не менее 12 мм. Недожог или пережог кирпича и камней существующим стандартом не допускается. Водопоглощение полнотелого кирпича должно быть не менее 8%, а пустотелых изделий — не менее 6% высушенного до постоянной массы изделия.

Наряду с общими требованиями свойств отечественная промышленность производит кирпич и камни высшей категории качества. Это прежде всего пустотелые изделия, которые должны быть условно эффективными, иметь марку по прочности не менее M100, а полнотелый кирпич — не менее M150, морозостойкость — не менее F25; к их внешнему виду предъявляются повышенные требования.

Кирпич и камни пустотелые и пористо-пустотелые применяют для наружных и внутренних несущих и самонесущих стен промышленных, гражданских и сельскохозяйственных зданий, а также для изготовления крупных стеновых блоков и панелей для индустриального строительства. Не рекомендуется применять указанный кирпич и камни для фундаментов, цоколей и стен мокрых помещений.

В качестве сырья для производства применяют легкоплавкие глины, содержащие 50...75 % кремнезема. Изготовление кирпича производят двумя способами: пластическим и полусухим.

Пластический способ производства керамического кирпича осуществляется по следующей схеме (рис. 3.5). Поступившую на завод глину подвергают обработке до получения пластичной однородной массы. Для этого глиняное сырье сначала подвергают измельчению на вальцах: глиняная масса поступает на поверхность двух валков, которые вращаются навстречу друг другу, в результате чего глина втягивается в зазор между ними и измельчается. Валки могут иметь разные диаметры и вращаться с неодинаковой частотой, в результате чего измельчение протекает интенсивнее. Для более эффективного измельчения к вальцам добавляют бегуны. Затем смесь поступает в глино-смеситель, где она увлажняется до 18...25% и перемешивается до получения однородной пластичной массы. Тщательно приготовленная однородная масса поступает затем в ленточный пресс.

Для получения кирпича более высокой плотности и улучшения формовочных свойств глин применяют вакуумные ленточные прессы (рис. 3.6). Поступающую в ленточный пресс глиняную массу с помощью шнека уплотняют, после чего она подается

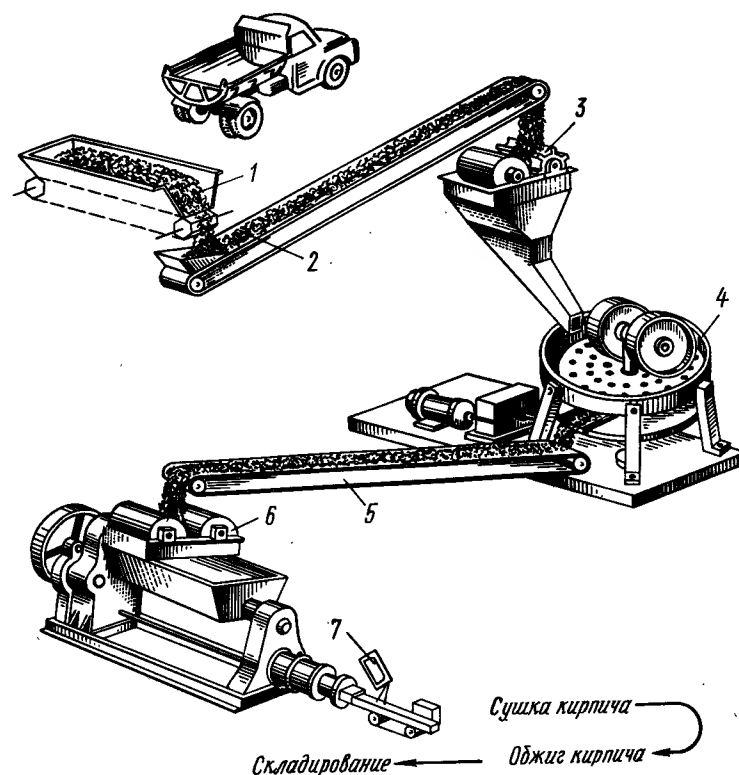


Рис. 3.5. Технологическая схема производства керамического кирпича по пластическому способу формования:

1 — ящичный подаватель; 2 — транспортер; 3 — дробление глины и отделение камня на дезинтеграторных вальцах; 4 — помол глины на бегунах; 5 — транспортер; 6 — формование кирпича на ленточном прессе; 7 — резка кирпича-сырца на автомате

к выходному отверстию — мундштуку. Из последнего выходит непрерывный глиняный брус, который попадает на автомат для резки и укладки кирпича-сырца на вагонетки камерных или туннельных сушил. Производительность ленточных прессов до 10 000 шт/ч. Срок сушки кирпича от 24 ч до 3 сут.

Процесс обжига условно можно разделить на три периода: прогрев, собственно обжиг и охлаждение. В период прогрева из сырца удаляется гигроскопическая и гидратная влага, сгорают органические примеси, равномерно прогревается масса и разлагаются карбонаты. При обжиге происходит расплавление наиболее плавкой составной части глины, которая обволакивает нерасплавившиеся частицы глины, спекая массу. Период охлаждения сопровождается образованием камня.

Обжиг кирпича производят в печах непрерывного действия — кольцевых и туннельных. Кольцевая печь представляет собой замкнутый обжигательный канал, условно разделенный на каме-

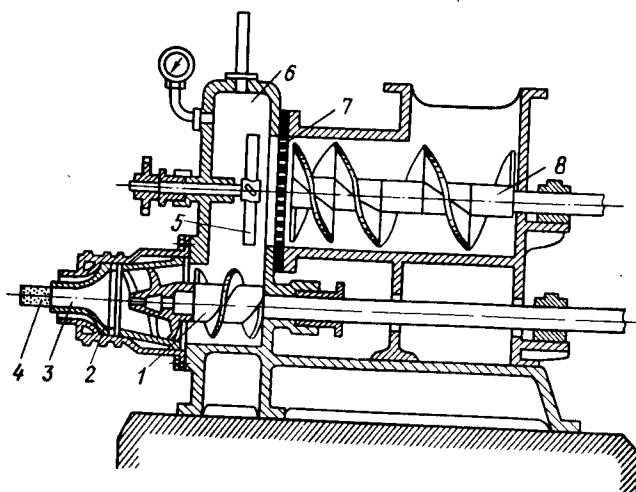


Рис. 3.6. Ленточный вакуум-пресс:

1 — шнековый вал пресса; 2 — прессующая головка; 3 — мундштук; 4 — глиняный брус; 5 — нож; 6 — вакуум-камера; 7 — решетка; 8 — глиномалка

ры. Эти печи отличаются высокой трудоемкостью и тяжелыми условиями труда, поэтому на новых заводах их не строят. Туннельная печь (рис. 3.7) является наиболее совершенной. Она представляет собой канал сечением 3,5...5,5 м², длиной до 100 м. В канале уложены рельсы, по которым движутся вагонетки с кирпичом-сырцом. Туннельная печь имеет три зоны: подогрева, обжига и охлаждения, — через которые последовательно в течение 18...36 ч проходят вагонетки с кирпичом-сырцом. Туннельные печи наиболее экономичны из-за более механизированного производства, а также лучшего использования тепла. Брак кирпича в туннельных печах сравнительно небольшой.

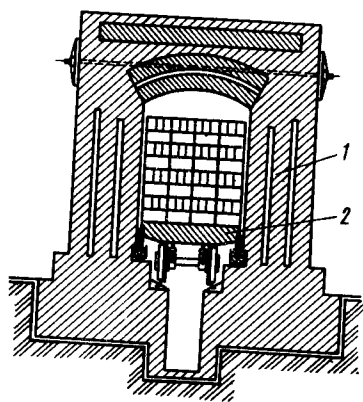


Рис. 3.7. Туннельная печь:

1 — корпус печи; 2 — вагонетка с кирпичом

Полусухой способ производства керамического кирпича имеет преимущество перед пластическим. Он не требует сушки изделий и позволяет использовать малопластичные глины. Вместе с тем уменьшается потребность в производственных площадях и рабочей силе. Однако качество кирпича, получаемого полусухим способом, в частности морозостойкость, ниже, чем кирпича, полученного пластическим прессованием. При полусухом способе формования (рис. 3.8) сырьевые материалы после предварительного измельчения на вальцах

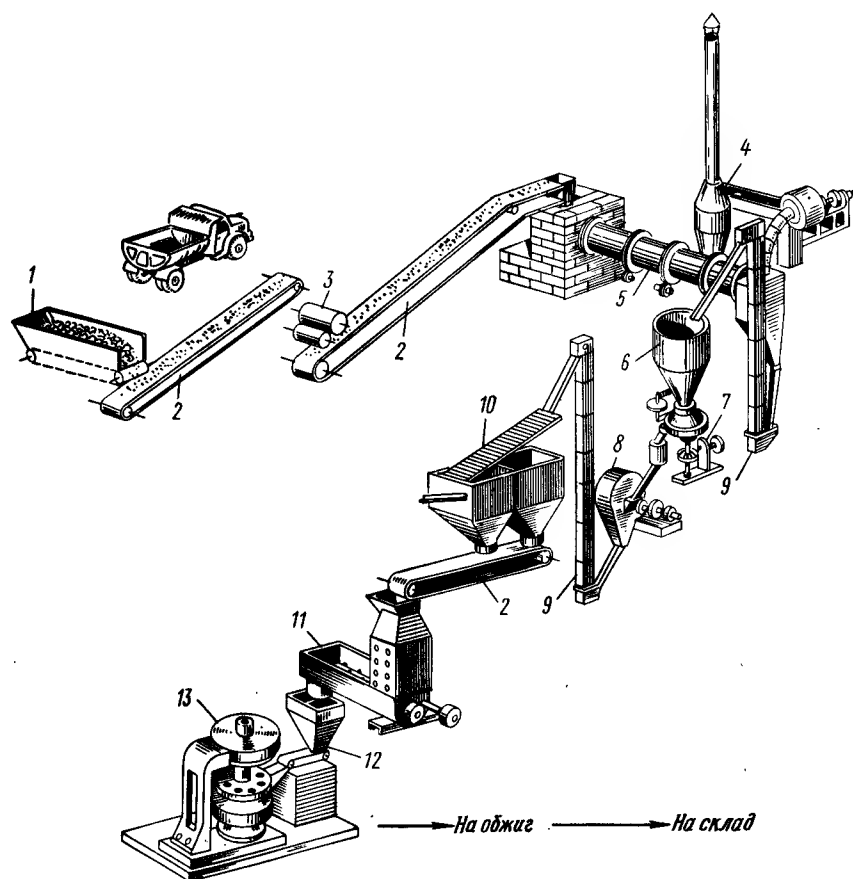


Рис. 3.8. Технологическая схема производства кирпича методом полусухого формования:

1 — ящичный подаватель; 2 — ленточный транспортер; 3 — дезинтеграторные вальцы; 4 — циклон; 5 — сушильный барабан; 6 — бункер; 7 — тарельчатый питатель; 8 — дезинтегратор; 9 — элеваторы; 10 — грохот; 11 — глиносмеситель с пароувлажнителем; 12 — питатель; 13 — пресс

высушивают в сушильном барабане до влажности 6...8%, затем измельчают в дезинтеграторе, просеивают, увлажняют до 8...12% и тщательно перемешивают. Подготовленную массу формуют (прессуют) на гидравлических или механических прессах производительностью до 10 000 шт/ч. Отформованный кирпич направляют в печь на обжиг и далее на склад.

Полусухим способом можно прессовать не только полнотелый кирпич, но и пятистенный, дырчатый, а также различные керамические плитки.

Кирпич керамический обыкновенный применяют для наружных и внутренних стен, столбов, сводов и других несущих конструкций. Кирпич полусухого прессования использовать для фунда-

ментов и цоколей ниже гидроизоляционного слоя не допускается вследствие пониженной его морозостойкости.

● **Кирпич керамический пустотелый и камни керамические** изготавливают из легкоплавких глин с добавками и без них по способу пластического или полусухого прессования. Массу для пустотелого кирпича и камней обрабатывают более тщательно, формирование желательно производить на вакуумных прессах со специальным приспособлением (кернами) для образования отверстий (пустот). Пустоты в кирпиче и камнях располагаются перпендикулярно или параллельно постели. По форме они бывают круглыми диаметром не более 16 мм или прямоугольными с шириной щели не более 12 мм. Кирпич пустотелый и камни керамические (рис. 3.9) применяют для несущих наружных и внутренних стен, перегородок и других частей зданий и сооружений. Не рекомендуется применять указанный кирпич для фундаментов, цоколей и стен мокрых помещений.

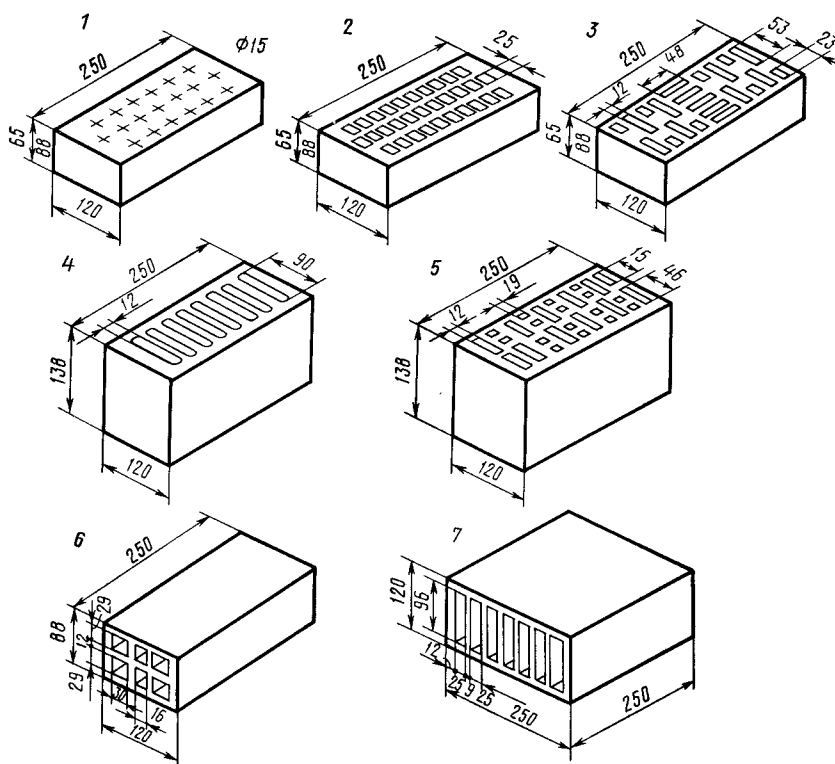


Рис. 3.9. Кирпич и камни пустотелые:

1 — кирпич с 19 пустотами (пустотность 13 %); 2 — кирпич с 31 пустотой (пустотность 30 %); 3 — кирпич с 21 пустотой (пустотность 32 %); 4 — камень с 8 пустотами (пустотность 25 %); 5 — камень с 28 пустотами (пустотность 33 %); 6 — кирпич с 6 горизонтальными пустотами (пустотность 42 %); 7 — камень с 7 горизонтальными пустотами (пустотность 56 %)

● **Кирпич и камни строительные из диатомитов и трепелов** производят с добавками или без них, сплошные и пустотелые путем пластического или полусухого прессования и последующего обжига. В зависимости от плотности (брутто) 700...1000 кг/м³, класс Б — класс А — плотностью (брутто) 1001...1300 кг/м³ и класс В — свыше 1300 кг/м³. Кирпич и камни из трепелов и диатомитов выпускают трех размеров: кирпич одинарный — 250×120×65 мм; кирпич модульный — 250×120×88 мм и камень — 250×120×138 мм. В зависимости от предела прочности при сжатии по сечению кирпич и камни изготавливают пяти марок: 200, 150, 125, 100 и 75, а при изгибе соответственно — 34, 28, 25, 22 и 18 для кирпича пластического формования и 26, 20, 18, 16 и 14 для кирпича полусухого прессования.

Пустоты в кирпиче и камнях делают сквозными перпендикулярно постели: круглые диаметром не более 16 мм и прямоугольные шириной не более 12 мм. Толщина наружных стенок изделий до первого ряда пустот должна быть не менее 15 мм. Кирпич и камни из диатомитов и трепелов производят в форме прямоугольного параллелепипеда с прямыми ребрами и углами и ровными гранями. Водопоглощение кирпича и камней должно быть не менее 8%, а по морозостойкости трех марок: F 15, 25, 35.

Кирпич и камни из трепелов и диатомитов применяют для кладки наружных и внутренних стен зданий и сооружений с сухим, нормальным и влажным режимом помещений.

§ 3.4. Кирпич и камни керамические специального назначения

К этой группе керамических материалов относятся керамический лекальный кирпич, камни для канализационных сооружений и кирпич для дорожных покрытий (клинкерный). К указанным материалам предъявляются повышенные требования прочности, морозостойкости, истирания и удара.

● **Кирпич керамический лекальный** применяют для кладки промышленных дымовых труб и футеровки труб в случаях нагрева кирпича дымовыми газами до температуры не более 700°C. Производство лекального кирпича аналогично производству обычного кирпича, изготавливаемого по пластическому способу. Кирпич лекальный выпускают длиной 80...225 мм с радиусом кривизны 850...1500 мм. По прочностным показателям лекальный кирпич подразделяют на три марки: M100, 125 и 150; водопоглощение его не менее 8%, морозостойкость не ниже F 15.

● **Кирпич для дорожных одежд (клинкер)** представляет собой искусственный камень размером 220×110×65 мм, получаемый из глины путем формования и последующего обжига до полного спекания, но без остекления поверхности. В качестве сырья применяют тугоплавкие глины с большим интервалом температур между началом спекания и началом деформации (пример-

но 1000°C). Дорожный кирпич выпускают размером 220×110××65 мм.

Физико-механические свойства дорожного кирпича характеризуются следующими показателями:

Марка кирпича	1000, 600, 400
Степень морозостойкости, не менее	100, 50, 30
Водопоглощение, %, не более	2, 4, 6
Сопротивление истиранию (коэффициент износа), %, не менее	18, 16, 14
Испытание на удар (количество ударов), не менее	16, 12, 8

● **Камни для канализационных сооружений** должны обладать высокой плотностью. Они имеют трапецеидальную форму и изготавливаются для проходки щитов диаметром 1,5 и 2 м. Камни для каждого диаметра щита изготавливают двух типов: для соединения их в кольцо с помощью боковых пазов и боковых гребней. На торцовых гребнях камней имеются пазы с гребнями для соединения кольца при проходке коллектора. Кроме того, для нагнетания раствора за обделку в камнях устраивают отверстия диаметром 25 мм. Керамические камни для подземных коллекторов должны иметь предел прочности при сжатии не менее 20 МПа.

§ 3.5. Керамические конструкции для стен

Несмотря на большой рост производства стеновых панелей и блоков из бетона и железобетона, кирпич все еще остается одним из основных видов стеновых материалов. Однако как мелкоштучный материал кирпич не отвечает требованиям современного индустриального строительства. Изготовление же на заводе кирпичных стеновых панелей и керамических блоков для наружных стен, а также однорядных виброкирпичных панелей для внутренних стен позволяет не только сделать кирпич индустриальным, но и получать экономию кирпича и уменьшить массу стены.

● **Панели для наружных стен выпускают двух- и однослойные.** Двухслойные панели изготавливают толщиной 260 мм, размером на комнату 2670 × 3180 мм. Двухслойная панель состоит из кирпича (толщиной 120 мм), высокоэффективного утеплителя (минераловатной плиты, пенокерамзита, пеностекла, фибролита) толщиной 100 мм и трех слоев цементного раствора 40 мм. Лицевая сторона стеновой панели может быть отделана тонкой керамической плиткой толщиной 4 мм, тогда три слоя раствора составят 36 мм. Однослойные панели 2750 × 3190 × 300 мм изготавливают из пустотелых керамических камней. Общая толщина этих панелей составляет 300 мм, в том числе толщина керамического камня — 250 мм, керамзитобетонного заполнителя — 25 мм и раствора — 25 мм. В настоящее время изготовление однослойных панелей начинают производить из специального многощелевого эффективного керамического камня, длина кото-

рого соответствует толщине панели, т. е. равна 300...320 мм. Панели наружных стен армируют стальными каркасами из проволоки диаметром 2 и 6 мм, расположенными по периметру оконного проема и панели.

Изготовление керамических стеновых панелей ведут горизонтальной и вертикальной кладкой. Технологический процесс изготовления виброкирпичных панелей состоит из следующих основных операций: приготовления раствора и металлического каркаса, формования, вибрирования и отделки панелей и их твердения в пропарочных камерах. Время теплообработки составляет 8...12 ч при температуре 80°C.

Панели для внутренних стен изготавливают из кирпича, их армируют специальными металлическими каркасами. Общая толщина панелей 140 мм; она складывается из толщины кирпича 120 мм и двух слоев раствора по 10 мм. Размер перегородочной панели 2620 × 2270 × 140 мм. Масса в среднем 2 т.

§ 3.6. Изделия керамические для облицовки фасадов зданий

Для облицовки фасадов зданий применяют различные керамические материалы, отличающиеся не только своими формами и размерами, но и декоративными качествами. Широкое использование получили изделия фасадной керамики, которые отличаются небольшой массой, высокой прочностью и красивыми естественными окрасками. К таким материалам относятся кирпич и камни керамические лицевые, ковровая керамика, плитки керамические малогабаритные, плиты керамические фасадные и другие изделия.

● **Кирпич и камни керамические лицевые** являются не только художественно-декоративными изделиями, но укладываются вместе с кладкой стены и служат конструктивным несущим элементом наряду с обычным кирпичом. Сырьевым материалом для производства лицевого камня и кирпича являются легкоплавкие или тугоплавкие глины, приобретающие после обжига различную окраску. Предпочтение имеют глины, которые после обжига имеют более светлые тона. Обычный цвет лицевого кирпича от темно-красного до светло-красного. Технология производства лицевого кирпича аналогична производству обыкновенного керамического кирпича пластическим или полусухим способом. За последние годы проведены экспериментальные исследования и внедрен на ряде предприятий новый эффективный метод получения лицевого кирпича и керамических камней из легкоплавких красножгущихся глин с помощью ангобирования. Процесс ангобирования заключается в нанесении специальными форсунками на свежеформованный или высушенный кирпич тонкого цветного лицевого слоя, усиливающего или маскирующего после обжига структуру и цвет черепка.

Для окрашивания поверхности лицевого кирпича применяют

морозостойкие различные по цвету составы ангобов (белый, серый, зеленый, голубой, ярко-красный, кремовый, коричневый и др.). Для получения ангоба используют часов-ярскую или веселовскую глины и люберецкий песок. Эту смесь тщательно измельчают в шаровых или вибрационных мельницах и к ним добавляют краситель. Так, для получения зеленого ангоба добавляют к указанной смеси до 10% оксида хрома, а для получения ангоба голубого цвета — до 3% оксида кобальта.

Кирпич и камни лицевые изготавливают сплошные и пустотелые. Лицевая поверхность кирпича и камней может быть гладкая, рифленая и офактуренная. Рельефное офактуривание поверхности производят путем обработки еще влажного кирпича сырца специальными металлическими ершами, гребенками, рифлеными валиками.

Кирпич и камни лицевые сплошные и пустотелые применяют для лицевой кладки фасадов и внутренних стен, ведущейся одновременно с кладкой стен, а также для внутренней облицовки складов, заводских цехов, садово-парковых ограждений. Для бассейнов, водоемов и других подобных сооружений применяют глазурованный кирпич или кирпич с водопоглощением не более 5%.

● **Ковровая керамика глазурованная и неглазурованная** представляет собой мелкогабаритные тонкостенные плитки различного цвета, наклеиваемые в виде ковров на бумажную основу. Плитки могут быть изготовлены различных цветов, блестящими и матовыми, покрыты прозрачными или глухими глазуриями; их выпускают 32 типоразмеров, квадратной, прямоугольной, треугольной, ромбической и трапецевидной формы со стороной 25...125 мм, массой 1 м² плитки до 4,5 кг.

В нашей стране значительное распространение получило производство мозаичных облицовочных плиток методом литья. Сущность этого метода заключается в нанесении на пористые керамические формы-подставки трех слоев: разделительного, основного слоя плиточной массы и глазури. Формы-подставки перемещаются на литейном конвейере, при этом влага шликеров впитывается ими и на их поверхности образуется плиточный слой толщиной 2,5...3,5 мм. В дальнейшем плиточный слой разрезают дисковыми ножами на плитки установленной формы и размеров.

С литейного конвейера подставки с отлитыми плитками поступают на сушку. Сушка продолжается около 15 мин при температуре 220...250°C. Далее плитки поступают в щелевые роликовые печи на обжиг, который продолжается 35 мин при температуре 950...1050°C. После обжига плитки снимают с подставок, наклеивают на листы бумаги, очищают от разделительного слоя и подают на склад готовой продукции.

Плитки ковровой керамики должны удовлетворять следующим требованиям: водопоглощение — не менее 6 и не более 12%, морозостойкость — 25 циклов, масса 1 м² плиток в зависимости

от толщины — 6...8 кг, лицевая поверхность — гладкая, без трещин, зазубрин и расслоений. Набор ковров производят как из одноцветных, так и разноцветных плиток, с относительным сопротивлением продавливанию не менее 0,3 МПа, наклеенных на крафт-оберточную бумагу клеем, обеспечивающим прочность приклейки. После облицовки клей должен легко смываться.

Плитки ковровой керамики применяют для облицовки крупных блоков и панелей, стен вестибюлей и лестничных клеток жилых и общественных зданий.

● **Плитки фасадные керамические** изготавливают из беложгущихся или цветных глин. Изделия небольших размеров формуют из тощих (малопластичных) кирпичных глин. Во всех случаях в сырье добавляют шамот. Подготовку глиняной массы производят по сухому способу: вначале сырье высушивают, измельчают и увлажняют, после чего тщательно перемешивают до получения однородной массы. Наиболее простой способ изготовления облицовочных плиток — формование на ленточном вакуум-прессе.

Облицовочные плитки изготавливают также и полусухим способом. При полусухом способе сушка исключается, изделия после формования идут на обжиг. Обожженные изделия сортируют по типу и цвету и хранят в штабелях на деревянных подкладках, защищая их от загрязнения и увлажнения.

В настоящее время фасадные плитки выпускают в ограниченном количестве, так как они сложны в изготовлении, громоздки и требуют высококачественного сырья.

Развитие крупнопанельного домостроения требует массового выпуска красивых и долговечных облицовочных материалов, которые обеспечивали бы возможность отделки стеновых панелей в процессе изготовления сборных элементов. Таким требованиям отвечают тонкостенные керамические плитки, обладающие высокой прочностью, имеющие разнообразную окраску и красивую поверхность. Наиболее распространенным способом производства облицовочных плиток является полусухое прессование. Большинство заводов выпускает неглазурованные и глазурованные плитки размером 120 × 65 мм, небольшая масса которых позволяет изготавливать на них керамические ковры, что обеспечивает отделку панельных конструкций в процессе их изготовления.

В настоящее время разработано два способа получения дешевых коврово-мозаичных плиток размером 22 × 22 × 4 мм с одинаковой фактурой лицевой и тыльной сторон. По первому способу мелкогабаритные керамические плитки изготавливают полусухим прессованием в пресс-формах, в верхней и нижней частях которых предусмотрены клиновидные выступы, образующие с обеих сторон отпрессованной плитки надрезы глубиной 2 мм. После обжига плитки раскалывают специальным устройством на более мелкие плитки размером 22 × 22 мм. За один цикл с пресса снимают при прессовании в таких пресс-формах 450 см²

плиток, в то время как при прессовании плиток размером 20×20 мм в 15-гнездной пресс-форме съем составляет 60 см^2 ; плиток размером 23×23 мм в 20-гнездной пресс-форме — 105 см^2 ; плиток размером 120×65 мм в 4-гнездной пресс-форме — 312 см^2 .

По пластическому способу мелкоразмерные керамические плитки получают напластованием массы на подставки, идущие по конвейеру. Возможность получения тонкостенных плиток напластованием из пластических масс основывается на высокой адгезии между влажной глиняной массой и керамическими подставками. Установка для получения плиток состоит из шнекового нагнетателя со специальной головкой для напластования масс, устройства для подачи подставок и транспортера с поворотным и резательным устройствами.

При непрерывной подаче подставок и равномерной загрузке пресса на подставке получают пластмассы толщиной 3...4 мм, которые легко разрезают резательными устройствами на плитки разных размеров: 22×22 , 48×48 , 22×48 мм и др.

Для получения мозаичных плиток различного цвета можно использовать глины, дающие после обжига окрашенный черепок (белый, желтый, красный), или добавлять красители для получения плиток серого, голубого и других цветов. Отформованные плитки высушивают в радиационной сушке, обжигают на подставках в шелевых печах или навалом в капсельных периодических или туннельных печах.

Производство мелкоразмерных плиток путем пластического напластования имеет ряд преимуществ по сравнению с методом полусухого прессования или литьем: короткий цикл технологического процесса (8...10 ч), упрощенный способ подготовки массы и малые производственные площадки. Малая масса и одинаковая лицевая и тыльная стороны позволяют укрупнить ковры и этим повысить индустриальность изготовления панелей.

§ 3.7. Изделия керамические для внутренней облицовки

Керамические плитки для внутренней облицовки ванных комнат, бань, прачечных, больничных и других помещений прочно вошли в строительную практику. В зависимости от назначения для внутренней облицовки применяют плитки для облицовки стен и полов.

● Плитки для облицовки стен в зависимости от используемого сырья делят на два вида: майоликовые и фаянсовые.

Майоликовые облицовочные плитки изготавливают из легкоплавких глин с добавкой до 20% углекислого кальция в виде мела. При обжиге плиток получают пористый черепок, лицевую поверхность которого покрывают глазурью, а на тыльную сторону наносят бороздки для лучшего сцепления с поверхностью. Сырьевую массу для майоликовых плиток тщательно перемешивают.

Формуют плитки на рычажном прессе, затем их сушат и обжигают; далее плитки покрывают глазурью и вторично обжигают. Слой глазури придает плиткам водонепроницаемость и высокие декоративные качества.

Глазури имеют разный состав: они бывают прозрачные и непрозрачные (глухие), глянцевые и матовые, белые и цветные, тугоплавкие и легкоплавкие. Прозрачная глазурь придает лицевой поверхности плитки блеск, однако цвет ее остается таким же, как цвет черепка, а непрозрачная (глухая) глазурь придает лицевой поверхности плитки цвет, отличный от цвета черепка. Глухие глазури могут иметь самый разнообразный цвет — от белого до черного. Тугоплавкие глазури применяют для покрытия фарфоровых изделий и состоят из каолина, кварца и полевого шпата, а легкоплавкие глазури — из легкоплавких глин с добавкой мела и оксидов железа. Ими покрывают облицовочный кирпич, черепицу, канализационные трубы. Цветные глазури получают при введении в их состав красящих оксидов или солей металлов. Глазури применяют в виде суспензий, которые наносят на керамические изделия пульверизатором или кистью. Покрывать глазурью можно как предварительно обожженные изделия, так и сухой сырец. Лучшее качество глазури получают при нанесении ее на обожженные изделия.

Фаянсовые плитки изготавливают из огнеупорных глин с добавкой кварцевого песка и плавней — веществ, понижающих температуру плавления (обычно полевого шпата и известняка или мела). Плитки имеют белый или слабо окрашенный черепок, лицевая поверхность покрыта белой и окрашенной, прозрачной или глухой глазурью. Тыльной стороне облицовочных плиток придают рифленую поверхность.

Плитки в зависимости от формы бывают квадратные, прямоугольные и фасонные для углов, облицовки карнизов и плинтусов. Для внутренней облицовки применяют плитки длиной 150 мм, шириной 25, 50, 75 и 150 мм. Толщина плиток должна быть не более 6 мм, а плинтусных — не более 10 мм; плиток, изготавливаемых из легкоплавких глин, — не менее 12 мм.

К качеству плиток для внутренней облицовки стен предъявляют высокие требования. Плитки должны иметь правильную геометрическую форму, четкие грани и углы, не иметь выпуклостей, выбоин и трещин, должны быть термически стойкими, т. е., будучи нагреты до температуры 100°C , а затем помещены в воду с температурой 20°C , не должны иметь на глазурованной поверхности трещин, овалов глазури и цека — сетки мелких трещин. Водопоглощение плиток не должно быть более 16%.

Как отмечалось выше, сырьем для изготовления плиток обычно служат массы из пластичной глины, каолина, кварца и полевого шпата. При производстве облицовочных плиток (рис. 3.10) поступающие из карьера сырьевые материалы освобождают от посторонних примесей, подсушивают, дозируют по массе и направляют в шаровые однокамерные мельницы для измельчения.

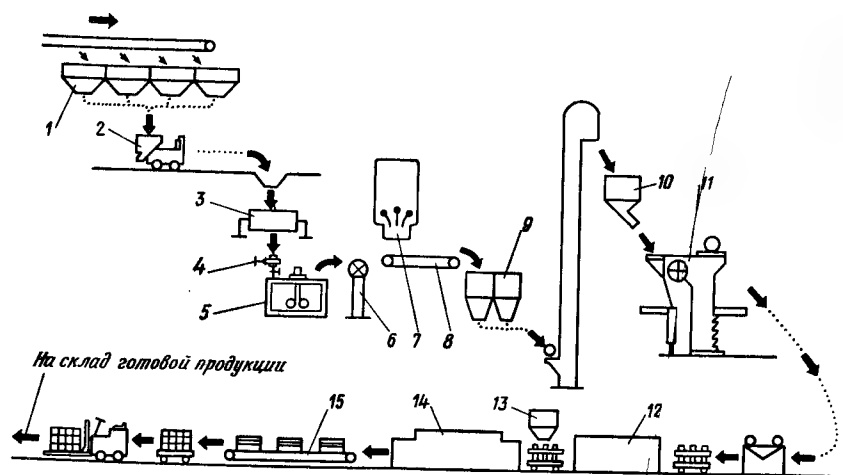


Рис. 3.10. Технологическая схема производства фаянсовых глазурованных плиток:
1 — сырьевые материалы; 2 — вагонетка; 3 — шаровая мельница; 4 — удаление примесей на электромагните; 5 — бассейн для массы с мешалкой; 6 — насос; 7 — распылительное сушило; 8 — транспортер; 9 — просев порошка; 10 — расходный бункер; 11 — прессование плиток; 12 — сушило; 13 — глазурование; 14 — печь для обжига; 15 — сортировка и упаковка

и перемешивания с водой до образования суспензии, которую пропускают через вибрационные грохоты и направляют в сборник, оборудованный пропеллерным смесителем. Из сборника суспензию подают мембранным насосом под давлением до 1,2 МПа в форсунки распылительных сушил. Суспензия выбрасывается через форсунки вверх с влажностью 40...50%, а затем попадает в среду с температурой 300...350°C и высушивается, превращаясь в гранулы крупностью до 1...1,5 мм и влажностью до 7%. Эти гранулы оседают в нижнем конусе сушила и, проходя через сито, поступают в бункер вылеживания, а оттуда на конвейерную линию.

Конвейерная линия состоит из прессового участка (рис. 3.11), цепного или сетчатого транспортера, по которому плитка поступает в сушильные камеры, участка глазурования и роликовых обжиговых печей туннельного типа. Обожженную плитку сортируют по размерам, цвету, типу и сорту и упаковывают в ящики. Плитки применяют для внутренней облицовки стен в санузлах, кухнях и других помещениях с повышенной влажностью.

● **Плитки для полов** должны иметь правильную форму (квадратную, прямоугольную, шестигранную, восьмигранную, треугольную длиной грани 50...150 мм и толщиной 10...13 мм), четкие грани и углы, без выпуклостей, выбоин и трещин; высокую плотность, водопоглощение не более 4%; повышенное сопротивление истираемости (потери в массе при испытании плиток на истираемость не должны превышать 0,1 г/см² для полов с повышенной истираемостью и 0,25 г/см² для полов прочих поме-

щений). Однако они имеют и некоторые недостатки: большую теплопроводность, слабое сопротивление удару, малые размеры. Плитки для полов применяют в вестибюлях общественных зданий, банях, прачечных, санузлах, на предприятиях химической промышленности и т. д.

Сырьем для изготовления керамических плиток для полов служат высокосортные пластичные глины с отощающими и понижающими температуру плавления добавками. Для придания плиткам необходимого цвета вводят красители (хромистое железо, оксид кобальта и т. д.). В производстве плиток применяют два способа подготовки массы для формования: мокрый и полусухой. *Мокрый способ* используют при глинах, требующих добавок плавней и красящих веществ. *Сухой способ* применяют при однородных глинах, не требующих добавок. При *полусухом способе* вначале глину тщательно измельчают, затем подсушивают до влажности 5...7% и вновь измельчают и просеивают. Измельченная и просеянная масса вылеживается 24...28 ч для выравнивания влажности и поступает на прессование. При мокром способе глину измельчают, а затем разбалтывают в большом количестве воды вместе с добавками. Из резервуара массу подают в фильтр-прессы, где ее обезвоживают до влажности около 20%, а затем подсушивают до влажности 5...7% и размалывают на бегунах. Измельченная масса на 24...28 ч поступает в бункера для вылеживания, а оттуда на прессование.

Более рациональная технология производства плиток для полов (рис. 3.12) предусматривает приготовление *пресс-порошка с обезвоживанием шликера не в фильтр-прессах, а в распылительных сушилах*. Формуют плитки из пресс-порошка на полуавтоматических гидравлических или автоматических механических прессах при давлении 25...30 МПа. При таком прессовании плитка превращается в черепок. Обжигают плитки в капсулах или без них при температуре 1150...1250°C. Подъем температуры при обжиге и охлаждении ведут медленно в целях получения более высокого качества плиток и уменьшения брака. Обожженные

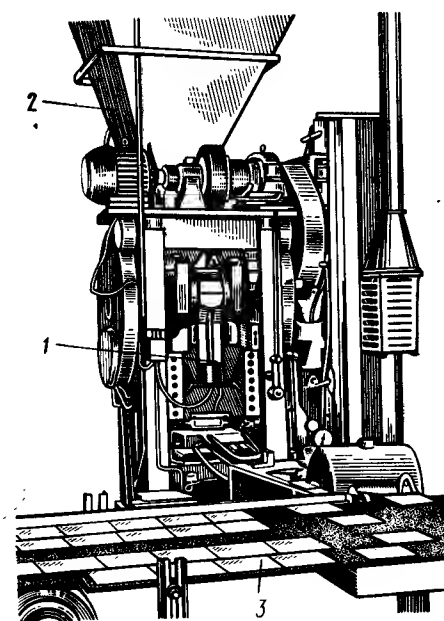


Рис. 3.11. Пресс-автомат полусухого прессования:

1 — механический пресс; 2 — бункер пресс-порошка; 3 — конвейер

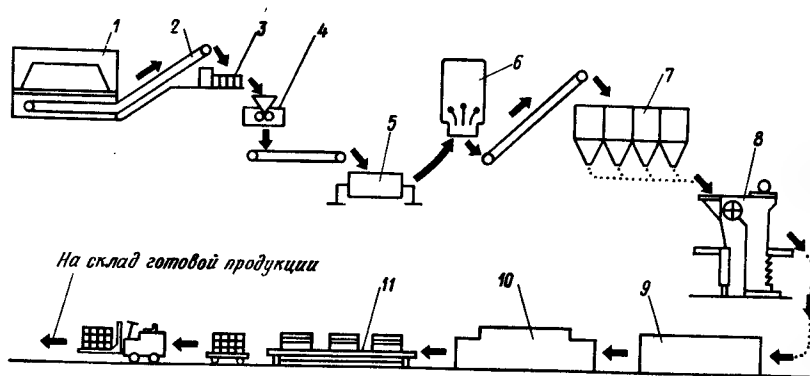


Рис. 3.12. Технологическая схема производства керамических плиток для полов:
1 — склад глины; 2 — транспортер; 3 — ящичный подаватель; 4 — дробление глины на зубчатых вальцах; 5 — помол глины в шаровых мельницах; 6 — распылительное сушило; 7 — расходные бункера; 8 — прессование плиток; 9 — сушка плиток; 10 — обжиг плиток; 11 — сортировка и упаковка

плитки сортируют по сортам, размерам, цвету и тону и упаковывают в пачки по 15 шт.

Плитки керамические мозаичные изготовляют двух видов: квадратные со стороной квадрата 23 и 48 мм и толщиной 6 и 8 мм и прямоугольные размером 48×23 и толщиной 6 и 8 мм. Плитки мозаичные обладают высокой плотностью и полным спеканием черепка без остеклования, а следовательно, высоким сопротивлением истираемости и малым водопоглощением (не более 3...4%).

Производство ковровой мозаики сходно с производством крупных плиток с той лишь разницей, что прессование первых осуществляется в специальных многогнездовых пресс-формах. Мозаичные плитки экономичнее в производстве, так как их малые размеры упрощают изготовление и до минимума снижают брак. Обожженные плитки укладывают в матрицы, затем на них наклеивают картон, который после устройства пола смывают. Ковры изготовляют размером 398×598 мм, толщина шва между плитками 2 мм. Упаковывают листы с плитками пачками по 10 листов с прокладками из фанеры или картона. Хранят мозаичные плитки в закрытых помещениях отдельно по типам, узорам и цвету. Применяют мозаичные плитки для облицовки ванных комнат, бань, купальных бассейнов, мест общего пользования — фойе, вестибюлей, станций метрополитена и пр.

§ 3.8. Кровельная черепица

Керамическая черепица является относительно недорогой, с хорошими декоративными качествами, но кровля из нее имеет значительную массу (до 65 кг/м^2).

● Черепицу изготовляют из глины с добавками или без них. В строительной практике широко применяют черепицу четырех

типов: штампованную, пазовую, плоскую ленточную и коньковую. В зависимости от назначения черепицу делят на: рядовую — для покрытия скатов кровли; коньковую — для покрытия коньков и ребер; разжелобочную — для покрытия разжелобков; концевую («половинки» и «косяки») — для замыкания рядов и черепицу специального назначения.

Технология изготовления черепиц в основном не отличается от технологии изготовления кирпича, но ввиду малой толщины черепицы глину перед формованием тщательно обрабатывают до получения однородной пластичной массы. Формуют черепицу на ленточных или револьверных прессах, после чего подают в сушило. Сушить черепицу нужно осторожно во избежание коробления, появления трещин и других деформаций. Обжигают черепицу до полного спекания черепка при температуре $950 \dots 1000^\circ\text{C}$. Кровельная черепица должна быть хорошо обожженной, равномерно окрашенной, иметь ровную и гладкую поверхность (без трещин), быть достаточно прочной (разрушающая нагрузка на излом не менее 7 Н), водонепроницаемой и морозостойкой (не ниже F25).

Хранят черепицу в деревянной таре, в закрытых помещениях, по сортам.

§ 3.9 Трубы керамические канализационные и дренажные

● Трубы керамические канализационные изготовляют из тугоплавких или огнеупорных глин с отошающими добавками (тонколоматым шамотом или кварцевым песком) или без них, цилиндрической формы с раструбом на одном конце.

Сырьевую массу обычно готовят пластическим способом по следующей схеме (рис. 3.13). Глину освобождают от крупных камней и подвергают грубому помолу. Измельченную глину подсушивают, измельчают в дезинтеграторах и просеивают. Наряду с подготовкой глиняного порошка параллельно идет приготовление из глины шамота. Отдозированную глину и шамот подают в смеситель, в котором массу перемешивают, увлажняют и направляют на изготовление валюшек. Выдержанные валюшки следуют в формовочное отделение. Формование труб производят на специальных трубных прессах, на которых одновременно с телом трубы формуют и раструб. Отформованные трубы сушат в искусственных сушильных установках. Высушенные и отделанные трубы покрывают снаружи и внутри глиняной глазурью, после чего обжигают. Обжиг канализационных труб производят в камерных или туннельных печах при температуре $1250 \dots 1300^\circ\text{C}$.

Канализационные трубы в зависимости от показателей внешнего вида и водопоглощения бывают I и II сортов. Водопоглощение черепка для труб I сорта — не более 9%, для II сорта — не более 11% по массе. Трубы должны выдерживать гидравли-

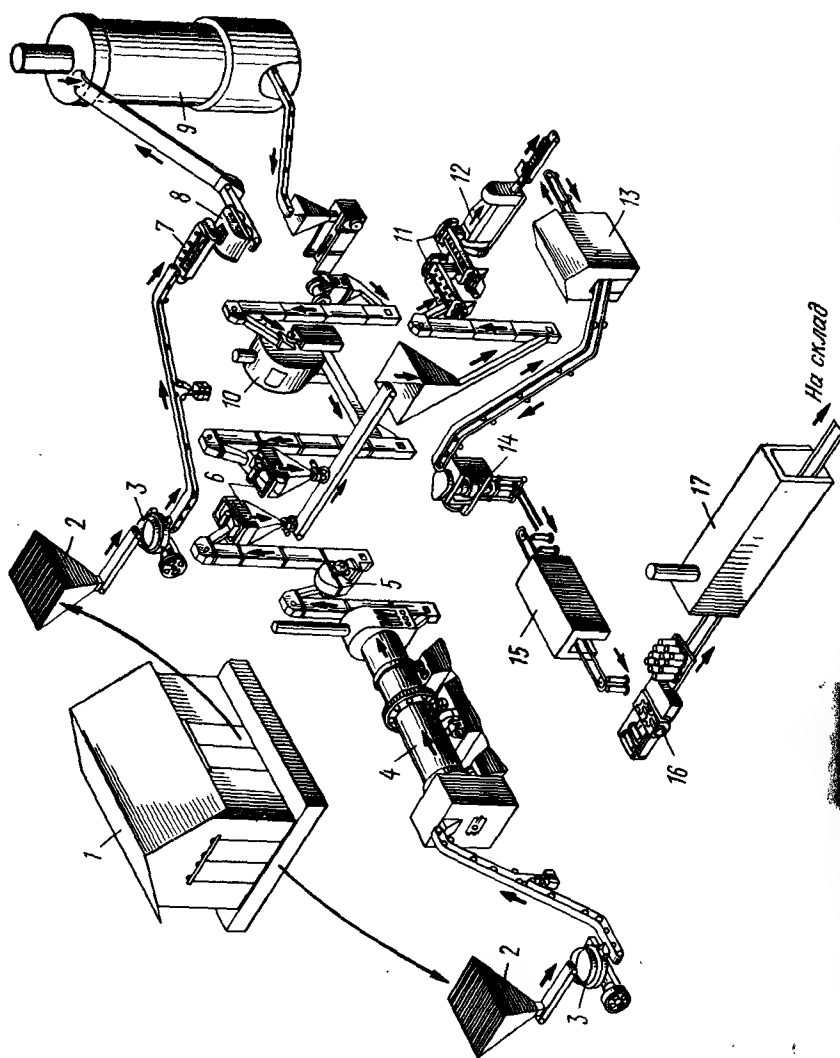


Рис. 3.13. Технологическая схема производства керамических труб:

1 — склад сырья; 2 — бункер с решеткой; 3 — измельчение глины в стружке; 4 — сушильный барабан; 5 — измельчение глины в дезинтеграторе; 6 — дозирование глины и шамота; 7 — смешение и увлажнение глины; 8 — брикетирование глины на вальцах; 9 — обжиг шамота; 10 — смешение глины с шамотом и их увлажнение; 11 — формирование вальцовой; 12 — склад вылеживания вальцовой; 13 — формование вальцовой; 14 — сушка труб; 15 — глазурирование; 16 — глазурирование; 17 — глазурирование.

ческое давление не менее 0,2 МПа и иметь кислотоустойчивость черепка не ниже 90%. Керамические канализационные трубы изготавливают диаметром 150...600 мм, длиной 800...1200 мм. Показатели механической прочности и гидравлического давления, правила приемки и маркировки, хранения и транспортирования канализационных труб должны соответствовать требованиям ГОСТа.

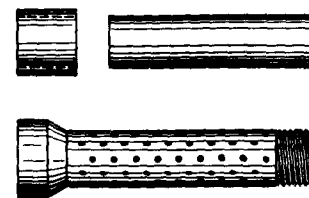


Рис. 3.14. Керамические дренажные трубы

Трубы канализационные применяют для производственных и хозяйственно-фекальных канализационных, а также для водосточных сетей при наличии агрессивных вод.

● **Трубы керамические дренажные** (рис. 3.14) изготавливают из пластичных глин с добавками или без них путем формования на специальных или ленточных прессах и последующего обжига в печах с опрокинутым пламенем. Внешнюю сторону дренажных труб покрывают глазурью. Дренажные трубы изготавливают с раструбами или без них. Раструбные трубы имеют отверстия, через которые вода проникает в трубы, однако отверстия быстро засоряются. В последнее время более широко практикуют изготовление дренажных труб без раструбов. Для соединения этих труб и защиты их от заиливания применяют керамические муфты. Вода в такие трубы поступает через стыки.

Дренажные трубы выпускают диаметром 25...250 мм, длиной 333...335 мм, а иногда до 500 мм. Дренажные трубы должны быть морозостойкими (не ниже 15 циклов).

§ 3.10. Изделия керамические кислотоупорные

● **Кирпич кислотоупорный** применяют для фундаментов и футеровки химических аппаратов, газоходов, кладки колосников, настилки полов и сточных желобов предприятий химической промышленности. Кислотоупорный кирпич производят двух видов: прямой размером 230 × 113 × 65 мм и клинообразный (клин торцовый двусторонний и клин ребровый двусторонний) размером 230 × 113 × 65 или 230 × 113 × 55 мм. По физико-механическим свойствам и внешнему виду кирпич делят на три сорта: I, II и III. Кислотостойкость кирпича должны быть не менее 92...96%, водопоглощение — не более 8...12%, а предел прочности при сжатии — 15, 20 и 25 МПа. Кислотоупорный кирпич I и II сортов должен обладать высокой термической стойкостью (не менее 2 теплосмен).

● **Плитки керамические кислотоупорные** изготавливают трех типов: кислотоупорные (К), термокислотоупорные (ТК) и термокислотоупорные для гидролизной промышленности (ТКГ). По внешнему виду плитки типов К и ТК делят на два сорта: I и II. Кислотоупорные и термокислотоупорные плитки имеют

плотный спекшийся черепок, высокую прочность — предел прочности при сжатии не менее 39 МПа и на изгиб не менее 15 МПа, низкое водопоглощение — не более 6...9% и высокую кислотостойкость — не менее 96...98%, а также высокую термическую стойкость: для плиток К — не менее 2, а для плиток типа ТК — не менее 8 теплосмен. Плитки типа ТКГ должны обладать кислотостойкостью не менее 97%, водопоглощением не более 6%, пределом прочности при сжатии не менее 25 МПа и термической стойкостью не менее 10. Плитки типа К применяют для футеровки аппаратов и газоходов, облицовки панелей и сточных желобов, а ТК и ТКГ — для футеровки варочных котлов целлюлозной, гидролизной и других отраслей промышленности.

● **Трубы керамические кислотоупорные** изготовляют по такой же технологии, как и канализационные, двух сортов: I и II. Они имеют плотный спекшийся черепок, с обеих сторон покрытый глазурью. Кислотоупорные трубы отличаются высокой плотностью и прочностью, малым водопоглощением и высокой устойчивостью к действию кислот. Так, трубы I сорта должны иметь кислотостойкость не менее 98%, водопоглощение не более 3%, предел прочности при сжатии не менее 40 МПа, термическую стойкость не менее 2 теплосмен и гидравлическое давление не менее 0,4 МПа. Трубы керамические кислотоупорные и фасонные части к ним применяют для перемещения неорганических и органических кислот и газов при разрежении или давлении до 0,3 МПа.

§ 3.11. Изделия санитарно-технической керамики

● Основным сырьем для производства санитарно-технических изделий является беложгущиеся огнеупорные глины, каолины, кварц и полевой шпат. Различают три группы санитарно-технической керамики: фаянс, полуфарфор и фарфор, отличающиеся степенью спекания и пористостью. Изделия из фаянса имеют пористый, а из фарфора плотный сильно спекшийся черепок, плотность полуфарфора занимает промежуточное положение. Различная степень спекания фаянса, фарфора и полуфарфора достигается при одних и тех же сырьевых материалах, но при различном соотношении последних в рабочей массе (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Состав массы для изделий санитарно-технической керамики

Наименование материалов	Содержание, %		
	в твердом фаянсе	в полуфарфоре	в санитарном фарфоре
Глинистые материалы (беложгущиеся огнеупорные глины и каолины)	50...55	48...50	45...50
Кварц	40...50	40...45	30...35
Полевой шпат	5...10	7...12	18...22

Сырьевые материалы, идущие на изготовление изделий санитарно-технической керамики, подвергают тщательной переработке: помолу, отмучиванию, просеиванию и другим операциям, обеспечивающим получение тонкоизмельченной сырьевой смеси, освобожденной от вредных примесей. Приготовленная смесь представляет сметанообразную массу — шликер. Формуют изделия преимущественно способом литья в гипсовых формах, которые впитывают избыток воды. Затем изделия вынимают из форм, подвяливают, оправляют (обрезают) и направляют в сушильные камеры. Высушенные изделия покрывают сырым глазурным слоем и в капсулах обжигают при температуре 1250...1300°C в периодических или непрерывнодействующих печах.

Из твердого фаянса изготовляют преимущественно унитазы, умывальники, смывные бачки, а также ванны. Фаянсовые изделия покрывают глазурью, так как в неглазурованном виде они пропускают воду. Черепок фарфоровых изделий непроницаем для воды и газов, обладает высокой механической прочностью и термической и химической стойкостью. Используют его для производства изоляторов, химической лабораторной посуды и т. п.

Свойства изделий санитарно-технической керамики приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Физико-механические свойства санитарно-технической керамики

Наименование показателей	Фаянс	Полуфарфор	Фарфор	Шамот
Водопоглощение, %	10...12	3...5	0,2...0,5	10...16
Плотность, кг/м ³	1900...1960	2000...2200	2250...2300	1800...1900
Предел прочности при сжатии, МПа	100	150...200	500	15...30
Предел прочности при изгибе, МПа	15...30	38...43	70...80	7...10

Изделия санитарно-технической керамики белые, иногда светло-желтые, должны иметь правильную форму, ровную, гладкую и чистую поверхность без искривлений, равномерно покрытую глазурью; они должны быть хорошо обожжены.

§ 3.12. Керамзит

● Керамзит представляет собой легкий пористый материал ячеистого строения с закрытыми порами. Основное применение он находит как заполнитель для легких бетонов (см. гл. 4). Для получения керамзита применяют легкоплавкие глины, содержащие 6...12% оксида железа, 2...3% щелочных оксидов и до 3% органических примесей. Если в глине недостаточно органических примесей, то в нее вводят угольную пыль, торфяную крошку и другие материалы. При обжиге глины происходит размягчение

материала и выделение газов и паров воды. Последние вспучивают частично расплавленную массу, образуя в ней поры. Спекание материала с образованием закрытых пор заканчивается в момент интенсивного газовойделения.

Производство керамзита осуществляют по трем технологическим схемам. При наличии плотных камнеподобных глин, хорошо вспучивающихся, обжиг ведут по сухому способу без формования, сразу после дробления сырья. При полусухом способе можно применять слабовспучивающиеся глины. В этом случае глину подвергают дроблению, сушке, помолу и вводят органические добавки, затем смесь тщательно перемешивают и гранулируют в виде зерен размером 10...20 мм. Пластический способ применяют при неоднородном влажном сырье. В качестве формирующих машин используют дырчатые вальцы и барабанные грануляторы, а также ленточные прессы, у которых выходное отверстие мундштука перекрыто перфорированной плитой. Прессы имеют устройство для резки выходящих жгутов. Иногда полуфабрикат сушат в сушильных барабанах.

Керамзитовый гравий обжигают во вращающихся печах длиной 20...50 м, диаметром 1,5...3,5 м при температуре 1300°C в течение 30...60 мин. После обжига керамзит медленно охлаждают до температуры 60...100°C, затем разделяют на фракции и направляют в силосы.

Различают керамзитовый гравий по размеру зерен, плотности и прочности. Керамзитовый гравий имеет размер 5...40 мм, зерна менее 5 мм называют керамзитовым песком. В зависимости от насыпной плотности гравий делят на марки 250...600. Предел прочности при сжатии (МПа) гравия в зависимости от его марки составляет:

Для марки 250.....0,6	Для марки 400.....1,4
» » 300.....0,8	» » 500.....2,0
» » 350.....1,0	» » 600.....3,0

Для высокомарочных конструктивных легких бетонов применяют гравий М800 и 1000 с прочностью при сжатии до 4 МПа.

§ 3.13. Огнеупорные материалы

● К огнеупорным относятся материалы, имеющие огнеупорность выше 1580°C. К ним предъявляют следующие основные требования: огнеупорность, предел прочности при сжатии и изгибе, прочность под нагрузкой при высокой температуре, термостойкость, газонепроницаемость, шлакоустойчивость, а также постоянство объема и формы.

Из огнеупорных материалов наиболее широко применяют кремнеземистые, алюмосиликатные, а также магнезиальные, хромистые и углеродистые. Кремнеземистые (динасовые) огнеупорные материалы содержат не менее 93% SiO₂. Эти материалы имеют высокую огнеупорность — 1670...1790°C, однако они обладают рядом недостатков: имеют малую термическую стойкость, при

быстром нагревании теряют прочность, растрескиваются и разрушаются. Применяют динасы для кладки сводов в металлургических и стекловаренных печах. Алюмосиликатные огнеупорные материалы делят на три вида: полукислые с содержанием SiO₂ более 65% и Al₂O₃ не менее 35%; шамотные с содержанием Al₂O₃ 30...45% и высокоглиноземистые с содержанием Al₂O₃ более 45%. Полукислые изделия изготовляют из кварцевых пород на глиняной или каолиновой связке. Изделия на каолиновой связке имеют огнеупорность не ниже 1710°C, а на глиняной — не ниже 1580°C. Указанные изделия применяют для футеровки вагранок, коксовых печей и т. д.

Шамотные огнеупорные изделия получают обжигом смеси шамота и огнеупорной глины; они термически стойки, шлакоустойчивы, обладают прочностью и т. д. Применяют их для кладки и футеровки печей и сводов, стен и пода керамических печей, обмуровки топок паровых котлов и т. д.

Высокоглиноземистые изделия изготовляют из боксита, диаспора, корунда и др. Они имеют огнеупорность 1820...1860°C, низкую термическую стойкость, но обладают высокой шлако- и стеклоустойчивостью. Применяют высокоглиноземистые материалы в стекольной промышленности для кладки печей.

Магнезиальные изделия состоят в основном из периклаза MgO — 80...85%; огнеупорность их достигает 2000°C.

Хромистые изделия получают из хромистого железняка с добавкой магнезита или глинозема; они имеют высокую огнеупорность — 1800...2000°C, устойчивы против шлаков железной руды. Применяют хромистые изделия в сталелитейных печах.

Углеродистые изделия изготовляют из графита или кокса, они обладают высокой огнеупорностью — выше 1700°C, термостойки против действия жидких шлаков.

§ 3.14. Экономика производства и применения керамических материалов

Большие запасы повсеместно распространенного сырья, сравнительная простота технологии и высокая долговечность керамических материалов выдвинули их на одно из первых мест среди других строительных материалов. Так, выпуск керамического кирпича составляет около половины объема производства всех стеновых материалов, керамические облицовочные плитки все еще остаются основными материалами для отделки санитарных узлов и многих других помещений, не потеряли своего значения и керамические материалы для наружной облицовки здания (табл. 3.3).

Основным стеновым материалом до сих пор остается штучный кирпич, составляющий в общем балансе стеновых материалов до 50%.

В средней полосе СССР кирпичные стены зданий возводятся толщиной 64 см (в 2,5 кирпича). Их массивность вызывает не-

Таблица 3.3. Динамика производства керамических строительных материалов

Наименование материалов	1965 г.	1970 г.	1980 г.	1985 г.	1985 г. к 1965 г
Керамический кирпич, млрд. шт.	28,0	32,4	27,5	26,7	95,3%
Облицовочная глазурованная плитка, млн. м ²	12,3	17,2	32,6	41,8	В 3,4 раза
Керамическая плитка для полов, млн. м ²	15,2	19,5	23,2	30,9	В 2 раза
Керамические кислотоупорные изделия, тыс. т	364	444	609	606	166%
Керамзит, млн. м ³	6,2	11,5	25,9	31,0	В 5 раз
Санитарно-строительный фаянс, млн. шт.	5,7	7,2	9,58	10,0	175%

производительные затраты материальных и трудовых ресурсов, увеличивает сроки строительства, а следовательно, ведет к удорожанию последнего по сравнению с индустриальным строительством. Однако для увеличения производства новых индустриальных материалов (на основе бетона и железобетона) требуются большие капиталовложения и длительные сроки для строительства и освоения новых предприятий, тогда как при незначительных капитальных вложениях на многих действующих кирпичных заводах можно организовать производство прогрессивных эффективных керамических стеновых материалов.

За последние годы в СССР производство пустотелой керамики составляет около 10% от общего объема выпуска кирпича. Однако за рубежом пустотелая керамика по сравнению с производством обычного кирпича давно заняла доминирующее положение. При этом толщина кирпичных стен за счет хороших тепло- и звукоизоляционных свойств уменьшена на 30...40%.

Конструктивные свойства пустотелой керамики и высокое термическое сопротивление воздушных прослоек (особенно при отрицательных температурах) при их рациональном распределении позволяют использовать значительные резервы для уменьшения толщины и массы наружных стен. Применение пустотелых керамических камней дает возможность уменьшить толщину наружных стен на 20% (и даже на 30...40%), массу стен — на 35%, расход раствора — на 45% и керамических материалов — на 15% по сравнению со стенами из обыкновенного кирпича. Применение укрупненных камней дает возможность уменьшить толщину наружных стен на 20% (и даже на 30...40%), массу стен — на 60%, расход раствора — на 55% и керамических материалов — в 2 раза. Соответственно уменьшается и трудоемкость возведения стен из керамических камней по сравнению с обычным кирпичом.

В зарубежных европейских странах (Франция, Финляндия, Италия и др.) удельный вес производства эффективной керамики

составляет 50...90% от общего выпуска кирпича. Эффективные керамические материалы, применяемые за рубежом, имеют плотность лишь 1000...1200 кг/м³ и характеризуются высокими теплотехническими свойствами. Керамические камни выпускают, как правило укрупненных размеров (до 4...6 стандартных кирпичей); они имеют высокую прочность (17,5...30 МПа) и разнообразные типоразмеры, что позволяет избежать лишнего расхода материала в конструкции и добиться удешевления наружных стен зданий на 30...40% по сравнению с традиционной кладкой (из обычного полнотелого кирпича).

Во Франции большой спрос имеют керамические камни пустотностью 64%, размером 270×200×400 мм. В Италии наибольшее распространение получил кирпич с пустотностью 40%, размерами 400×300×200 и 500×400×300 мм. В последнее время изготавливают крупногабаритные ребристые пустотелые камни размером 600×250×1200 мм для укладки и перекрытия и использования в панельном строительстве. Интересно отметить, что в полносборном строительстве Франции до 1/3 составляют керамико-бетонные конструкции. Керамические камни в конструкциях внутренних, наружных стен и перекрытий находят применение также в ФРГ, Голландии и Англии.

Производство керамических камней у нас непрерывно увеличивается; этому способствует их невысокая себестоимость по сравнению с себестоимостью полнотелого кирпича (в пересчете на 1 м² стены).

При переходе на выпуск пористо-пустотелой керамики повышенной пустотности производительность сушил и печей кирпичных заводов возрастает на 20...25%, расход сырья уменьшается на 30...40%, топлива — до 15%. На основе роста выпуска продукции с действующих агрегатов и сокращения толщины конструкций достигается возможность увеличения производства материалов для стен с каждого реконструированного на выпуск пористо-пустотелой керамики кирпичного завода не менее чем в 1,5 раза.

Удельные капитальные вложения на строительство полигонов и цехов виброкерамических панелей меньше, чем на создание цехов крупнопанельных железобетонных конструкций.

В нашей стране предусмотрена широкая программа реконструкции кирпичных заводов, в том числе перевод их на выпуск пористо-пустотелой эффективной керамики. Расчеты показывают, что удельный вес эффективной керамики для стен следует увеличить до 25...30% по отношению к выпуску кирпича, а конструктивно-лицевых изделий — до 4...5%.

Структура производственных затрат в промышленности строительной керамики характеризуется большой трудоемкостью вследствие невысокого уровня механизации производства. Удельный вес заработной платы в среднем по промышленности строительной керамики составляет 38%, а в целом по промышленности — 18,6% себестоимости продукции. Резервы снижения себе-

стоимости продукции являются весьма значительными. Так, заводская себестоимость плитки для полов на одних заводах снизилась до 70 коп., а на других достигает 1,5...2 руб. Такое же положение и с себестоимостью облицовочных плит: на одних заводах она немногим превышает 1...1,2 руб., а на других достигает 2,4...3,8 руб.

Одним из решающих факторов, определяющих себестоимость продукции, является мощность предприятия. Увеличение ее позволяет повысить уровень механизации и соответственно уменьшить трудозатраты, снизить удельный расход энергоресурсов, а также снизить цеховые и общезаводские затраты, приходящиеся на 1 м² плитки.

Значительного снижения расхода энергоресурсов — топлива и электроэнергии — достигают применением метода бескапельного обжига и радиационных сушил и при использовании в качестве топлива природного газа.

Снижение себестоимости облицовочных плиток и плиток для полов может быть достигнуто за счет совершенствования технологии в производстве. Наиболее фондоемким процессом в производстве керамических облицовочных плиток является сушка изделий. На многих плиточных заводах сушку изделий осуществляют в конвективных конвейерных сушилах, недостатком которых является большая продолжительность сушки изделий (10...12 ч). На Харьковском плиточном заводе применяют более экономичные радиационные сушила. Цикл сушки в них составляет около 10 мин. Ускоренная сушка в радиационных сушилах дает возможность повысить производительность прессового цеха, сократить потери от брака, повысить качество выпускаемой продукции. В настоящее время НИИСтройкерамики совместно с другими организациями разработал ленточные однорядные сушила, на которых цикл сушки сокращен с 8...12 ч до 5 мин при сушке облицовочных плиток и до 17...18 мин при сушке плиток для полов.

Повышение производительности сушильных переделов требует совершенствования подготовки сырьевой массы. Взамен громоздких бегунов применяют более экономичные ротационные мельницы, обслуживание которых проще и дешевле, а производительность на 60% выше. В то же время ротационные мельницы в 15 раз легче бегунов (800 кг против 12 т) и занимают меньше места в цехе.

Применение комплексной механизации и автоматизации производства, модернизация оборудования, замена малопроизводительных машин периодического действия машинами непрерывного действия, использование природного газа в качестве топлива позволяют резко снизить себестоимость и трудовые затраты на изготовление керамических облицовочных материалов, повысить их качество.

Улучшение технико-экономических показателей производства керамических труб может быть достигнуто прежде всего за счет

лучшего использования производственных мощностей, роста производительности основного оборудования и тепловых агрегатов, увеличения количества туннельных печей для обжига продукции, использования природного газа в качестве топлива, а также за счет улучшения организации труда.

Анализ работы различных заводов показывает, что в производстве керамических канализационных труб значительная доля от общих трудовых затрат приходится на массозаготовительный и формовочный цехи. Так, по формовочным цехам трудовые затраты составляют почти столько же, сколько по сушильно-печным. Уровень трудовых затрат по сушильно-печным цехам зависит от типа применяемых печей и их производительности.

При конвейеризации производства возрастает производительность трубных прессов, высвобождаются производственные площади, сокращается срок подвялки труб, улучшается качество труб, увеличивается производительность труда и значительно сокращается брак продукции. Наиболее прогрессивной технологической схемой по производству керамических канализационных труб следует считать поточно-механизированную линию, которая сооружена на Кудиновском заводе. Преимущество этой линии состоит в меньшем расходе металла на ее сооружение, сокращении капитальных затрат на перестройку зданий и тепловых агрегатов. Кроме того, благодаря внедрению поточной линии ликвидируется тяжелый ручной труд за счет механизации процессов, оправки, подвялки, сушки, глазурирования, а также механизации всякого вида операций по передвижению полуфабриката от одного рабочего места к другому. Поточно-механизированная линия дает значительный экономический эффект за счет резкого снижения трудовых затрат на единицу продукции и позволяет полностью механизировать весь процесс производства труб. Большое значение для экономики керамических материалов имеет снижение затрат на топливо, расход которого весьма значителен (табл. 3.4).

Таблица 3.4. Расход условного топлива на производство керамических строительных материалов и изделий

Наименование изделий	Расход условного топлива, кг	
	на единицу измерения	на тонну продукции
Производство керамического кирпича, тыс. шт.	160...370	45...100
Производство строительной керамики:	370...450	
труб канализационных, т	1500...2000	
санитарно-строительных изделий, т	9...10	360...720
метлахской плитки, м ²	100...140	150...250
облицовочной плитки, м ²	100...140	150...250
керамзита, м ³		

Дефекты керамических строительных материалов (трещиноватость изделий, неоднородность цветовых тонов, разлив глазури и др.) являются прежде всего результатом нарушения режимов теплоскоростной обработки изделий. В кольцевых печах, где топливо непосредственно соприкасается с обжигаемой продукцией, последняя загрязняется уносами и условия труда при выгрузке изделий из печей тяжелые. Чистка газоходов и каналов в сушильных устройствах и печах при работе на твердом топливе является трудоемким процессом.

Большое народнохозяйственное значение имеет перевод керамической промышленности на наиболее эффективные виды топлива, в частности на нефтяное топливо и природный газ. Последнее позволяет снизить удельные расходы топлива, устранить расход тепла на сушку самого топлива и потери при его транспортировании и сжигании, улучшить условия труда, создать более благоприятные условия автоматического регулирования тепловых процессов.

Промышленность строительной керамики в последние два десятилетия развивалась очень интенсивно. За этот период ассортимент продукции отрасли значительно расширился (табл. 3.5).

Таблица 3.5. Выпуск эффективных видов продукции промышленности строительной керамики

Наименование изделий	1970 г.	1975 г.	1980 г.	1985 г.
Плитки облицовочные цветные, млн. м ²	3,6	6,3	13,5	18,0
Санитарно-строительные изделия фарфоровые, тыс. шт.	890	3600	6000	6500
Плитки для полов крупноразмерные, млн. м ²	0,4	3,8	7,6	12

Однако по качеству продукции и номенклатуре выпускаемых изделий керамическая промышленность далеко не полностью удовлетворяет запросы строительства. Так, основным видом продукции в производстве облицовочных плиток являются плитки белого цвета. Производство цветных плиток в общем выпуске хотя и значительно увеличилось в последние годы, но недостаточно. Относительно невысокое качество продукции промышленности строительной керамики во многом обусловлено низким качеством и нестабильностью состава сырья, применением капселей при обжиге в туннельных печах, использованием на ряде заводов низкокачественного топлива, несоблюдением технологической дисциплины. Улучшение качественных показателей работы промышленности непосредственно зависит также от внедрения новых видов оборудования и технологических процессов, в особенности от организации обжига изделий строительной керамики в новых типах печей (роликовых, муфельных, электрических),

применения распылительных сушил для обезвоживания керамических масс, внедрения механизированного глазурования способом пульверизации, шликерного способа изготовления плиток для полов, метода однократной сушки плиток, магнитной очистки массы и пресс-порошка и ряда других.

Для строительства новых предприятий подобного типа по сравнению с проектами заводов 1966...1970 гг. характерен более высокий уровень удельных капитальных вложений: по облицовочным плиткам — на 20...25%, по фасадным изделиям — на 15...20%, по санитарно-техническим изделиям — даже на 25...30%. На изменение уровня удельных капитальных вложений влияют как факторы, обуславливающие их снижение (увеличение средней мощности, совмещение однородных операций по приготовлению массы и глазури, более рациональное использование в проектах складов сырья, массозаготовительного отделения и всего комплекса подсобно-вспомогательных цехов), так и факторы, обуславливающие рост уровня удельных капитальных вложений (улучшение качества продукции, повышение уровня механизации и автоматизации производства, улучшение условий труда, удорожание нестандартного оборудования). Перспективные показатели себестоимости и трудоемкости производства керамических изделий, соответствующие намечаемому проектному уровню, даны в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Техничко-экономические показатели по проекту Целиноградского керамического комбината

Наименование изделий	Себестоимость, руб.	Трудоемкость, чел-ч
Облицовочные плитки, 10 м ²	12,9	3,66
Плитки для полов, 10 м ²	15,2	2,85
Фасадные изделия, 10 м ²	8,2	4,0
Санитарно-технические изделия, 1 т	204,6	105
Канализационные трубы, 1 т	21,8	9,65

Наряду с преимущественной ориентацией на строительство заводов-комбинатов в 1986...1990 гг. важными путями повышения экономической эффективности капитальных вложений являются дальнейшая концентрация производства (особенно по облицовочным и метлахским плиткам и кислотоупорным), наращивание производственных мощностей за счет расширения и реконструкции действующих предприятий, внедрение новых технологических процессов и высокопроизводительного оборудования (перевод облицовочных плиток на однократный обжиг, внедрение башенных распылительных сушил взамен сушильных барабанов, литейно-подвальных конвейеров).

Достижение уровня мировых стандартов по качеству требует значительной перестройки керамической промышленности, рез-

кого повышения ее технического уровня — применения новых видов сырья, технически совершенных сушил и печей, прогрессивных технологических схем производства.

Наблюдается дальнейшее техническое перевооружение предприятий керамической промышленности на основе более массового внедрения автоматизированных конвейерных технологических линий с применением щелевых роликовых печей в производстве облицовочных плиток, плиток для полов и фасадной керамики.

В производстве санитарно-строительных керамических изделий совершенствуется отливка изделий, создается поточно-автоматизированная линия для сушки, глазуковки и обжига в одноярусных, муфельных или электрических печах, а также осваивается производство умывальных столов и смывных бачков методом гидростатического прессования.

В производстве керамических канализационных труб внедряются конвейерно-поточные линии с высокопроизводительными прессами, конвейерами, сушилами, со скоростными режимами сушки и обжига для выпуска труб больших диаметров и длиной до 2 м, создание и освоение конвейерной линии производства канализационных труб методом гидростатического прессования.

С целью ликвидации дефицита в изделиях строительной керамики значительно увеличивается выпуск плиток керамических облицовочных, плиток керамических для полов, фасадно-облицовочной керамики, в том числе литой коврово-мозаичной.

Производство керамзитового гравия осуществляется более чем на 125 предприятиях. Из общего количества выпускаемого керамзита около $\frac{2}{3}$ использовано для изготовления легкобетонных конструкций и $\frac{1}{3}$ на теплоизоляционные засыпки и пр. Экономическая эффективность развития производства керамзита для бетонов зависит от двух условий: уровня технико-экономических показателей продукции на керамзитовых предприятиях и качественных показателей продукции (плотности, прочности, формы зерен, характера поверхности зерен). В общем выпуске керамзита изделия прочности 50 МПа и выше занимают большой удельный вес (около $\frac{2}{3}$), а наиболее эффективного в строительстве керамзита плотностью до 400 кг/м³ лишь 20%.

Средняя прочность керамзита в последние годы незначительно повысилась. ГОСТ на керамзитовый гравий предъявляет повышенные требования к его механической прочности. Хотя выпуск керамзита класса А возрос, однако доля керамзита класса Б является по-прежнему существенной. Увеличение прочности керамзита с 2,5 до 7,5 МПа для выпуска конструктивных легких бетонов высокой прочности является важным источником экономии затрат в строительстве, однако требует внедрения новых технических решений, обеспечивающих сохранение производительности обжигательных агрегатов при росте плотности гравия.

Себестоимость и удельные капитальные вложения в производстве керамзита в наибольшей степени зависят от среднегодовой

мощности предприятия и плотности продукции. Если при плотности керамзита 300...400 кг/м³ фактическая себестоимость составляет 5,0...6,9 руб/м³, то при М600 она равна 10,3 руб/м³, при М700 — 12,2, а при М800 — более 14 руб/м³.

Повышение качества и улучшение ассортимента производства керамзита связаны с совершенствованием методов подготовки сырья, вводом в шихту органических и минеральных добавок, установкой новых машин и механизмов, объемно-массовых мерителей для непрерывного определения плотности гравия, внедрением двухбарабанных печей, внутрипечных теплообменников и автоматизацией процессов обжига, а также установок для фракционирования заполнителей.

В 1985 г. объем выпуска керамзита составил 31,0 млн. м³ против 11,5 млн. м³ в 1970 г. (т. е. увеличился более чем в 2,6 раза) при снижении насыпной плотности, повышении стабильной прочности заполнителей и улучшении гранулометрического состава керамзитобетонных смесей.

Что касается эффективности производства керамзита, то она в большей мере проявляется в сфере строительства, нежели в сфере изготовления наполнителя. Техничко-экономическими расчетами установлено, что дополнительные капитальные вложения на развитие производства керамзита лучшего качества быстро (за 3...4 года) окупаются за счет достигаемой в строительстве экономии при применении легких бетонов.

МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ

Изыскание новых материалов, более эффективных в техническом и экономическом отношениях, обладающих высокими физико-механическими свойствами (кислотостойкостью, водонепроницаемостью, сопротивляемостью истиранию и декоративными качествами), является важнейшей задачей промышленности строительных материалов. Одним из таких видов являются материалы, получаемые из минеральных расплавов.

● Для минеральных расплавов общим признаком является их **силикатная природа, т. е. преобладание в их составе силикатов. Именно силикатным расплавам присуща способность переходить при быстром охлаждении в стеклообразное состояние.** Для стекла характерный признак — наличие ближнего порядка, т. е. существование упорядоченных групп, размер которых лишь немного превышает размер элементарной ячейки. Поэтому свойства стекла изотропны, т. е. одинаковы во всех направлениях. Вещество в стеклообразном состоянии гомогенно и не имеет определенной температуры плавления; постепенно размягчаясь при нагревании, стеклообразные вещества переходят в жидкое состояние. Характерным признаком стеклообразного состояния является также его неравномерность (метастабильность).

Получение изделий из минеральных расплавов также базируется на едином комплексе технологических операций — плавлении исходного сырья, формовании и термической обработки изделий с целью получения требуемой микроструктуры и физико-химических свойств.

Минеральные расплавы в зависимости от вида исходного сырья можно разделить на следующие группы: стеклянные, каменные и шлаковые.

§ 4.1. Физико-химические основы получения изделий из стекольных расплавов

Для удовлетворения потребностей отраслей народного хозяйства разработаны сотни видов стекол различных составов. Как правило, современные промышленные стекла содержат не менее пяти компонентов, а специальные технические — более десяти.

Изменение химического состава стекольного расплава позволяет эффективно регулировать прочностные, теплофизические, диэлектрические, химические и другие свойства стекла. Так, повышение химической устойчивости и механической прочности достигается за счет увеличения в составе стекла SiO_2 , Al_2O_3 и CaO ; замена части SiO_2 на PbO придает стеклу повышен-

ный блеск; введение в расплав фторидов позволяет получить глушеное стекло и т. д.

Разнообразие свойств изготавливаемых стекол обуславливает и разнообразие используемого сырья. Все сырьевые материалы, применяемые для варки стекла, делят на главные и вспомогательные. Первые вводят в состав шихты необходимые для данного стекла основные и кислотные оксиды, вторые придают стекломассе специфические свойства, облегчают ее варку и выработку.

Главные стеклообразующие оксиды вводят в состав шихты со следующими видами сырья: SiO_2 — с кварцевыми песками или песчаниками; CaO и MgO — с известняками и доломитами; Al_2O_3 — с пегматитом или полевым шпатом; Na_2O — с содой; K_2O — с поташом; B_2O_3 — с бурой; PbO — с суриком и т. д. Основное требование, предъявляемое ко всем видам сырья, — чистота и однородность по составу. Особенно жесткие требования предъявляют к чистоте кремнеземсодержащего сырья, составляющего до 70% шихты.

К вспомогательным материалам относят вещества, создающие восстановительную или окислительную среду в стекольной шихте и печной атмосфере, ускоряющие процессы стеклообразования и обесцвечивания стекломассы, и красители. В качестве восстановителей применяют антрацит и кокс, окислителей — нитраты натрия или калия, оксиды мышьяка и сурьмы. Ускоряют процесс стекловарения добавкой сульфата натрия, кремнефтористого и хлористого натрия. Красителями стекла являются соединения металлов, растворимые в стекломассе или образующие в ней взвешенные микрочастицы металлов и их соединений.

Обязательным компонентом шихты является стекольный бой. Перед обработкой стекольный бой должен быть отсортирован, измельчен, вымыт и подвергнут магнитной сепарации для удаления металлических включений.

Стекольную шихту готовят путем дозирования по заданному рецепту сырьевых материалов и тщательного их перемешивания. Смешение шихты производят в смесителях периодического действия: тарельчатых, барабанных, а также конусных. В последнее время за рубежом широко применяют скоростные турбинные смесители, позволяющие сократить время перемешивания до 1 мин. Важнейшими стадиями процесса варки стекла являются: силикатообразование, осветление, гомогенизация и студка стекломассы. Сущность каждой стадии сводится к следующему.

● На **первой стадии силикатообразования** по мере нагревания шихты из нее испаряется влага, обезвоживаются гидраты, термически разлагаются некоторые соли (например, нитраты). При 300...400°C в промышленных шихтах начинается взаимодействие карбонатов и сульфатов с образованием двойных солей и легкоплавких эвтектик. При дальнейшем повышении температуры в реакции вступают песок и глиноземные материалы с образованием различных силикатов. Одновременно вследствие плавления

некоторых солей и эвтектик в шихте появляется расплав, интенсифицирующий взаимодействие компонентов. Уже при температуре порядка 800°C взаимодействие компонентов шихты заканчивается, выделение газов прекращается. За счет жидкой фазы, образующейся при плавлении соды и эвтектических примесей, происходит спекание шихты. Однако значительная часть кремнезема (до 25%) остается в свободном состоянии. Для обычных натриево-кальциевых стекол стадия силикатообразования завершается при 800...900°C.

● На второй стадии стеклообразования при повышенных температурах происходит плавление массы, избыточные зерна кварца и возникшие ранее силикаты растворяются в расплаве. К концу второй стадии при температуре 1100...1200°C шихта представлена прозрачной, но неоднородной по составу стекломассой, пронизанной множеством газовых пузырей.

● На стадии осветления происходит удаление газов из расплава; крупные пузыри поднимаются на поверхность и лопаются, а мелкие растворяются в расплаве. Для обычных стекол осветление заканчивается при температуре 1400...1500°C.

● Структура стекломассы в процессе варки очень неоднородна. Для выравнивания ее химического состава, ликвидации свили и гетерогенных слоев стекломасса проходит стадию гомогенизации. В печах периодического действия она осуществляется перемешиванием стекломассы, в печах непрерывного действия — длительным выдерживанием ее в зоне высоких температур, а также бурлением стекломассы сжатым воздухом. Процессу гомогенизации способствует также перемешивание массы газовыми пузырями в процессе осветления. Осветление и гомогенизация — самые длительные стадии варки стекла.

● Завершающая стадия процесса стекловарения — студка — заключается в повышении вязкости стекломассы до пределов, допускающих формование изделий, за счет снижения температуры до 1100...1200°C. Если на стадии осветления и гомогенизации вязкость стекломассы составляет около 10 Па·с, то при выработке она должна быть не менее 100 Па·с.

Разделение процесса варки стекла на отдельные стадии достаточно условно, поскольку некоторые из них протекают одновременно. В то же время любой ограниченно малый объем шихты обязательно проходит все пять стадий процесса стекловарения.

Для промышленных стекол, вырабатываемых механическими способами, стекломассу получают в непрерывно действующих стекловаренных ваннах печах, а для некоторых специальных видов стекол — в печах периодического действия (горшковых или ваннах).

§ 4.2. Материалы и изделия из стекольных расплавов

Наибольшее распространение получили материалы и изделия из стекольных расплавленных масс. Эти материалы в виде стекла со всеми его разновидностями, а также в виде стеклянных изде-

лий нашли широкое применение в строительстве, архитектуре, санитарной технике, пищевой, химической и других отраслях промышленности.

● Стекло — материал, обладающий комплексом разнообразных, не присущих другим видам строительных материалов свойств, характерными из которых можно считать светопропускание и хрупкость. Свойства стекла зависят от многих факторов: состава, режима теплообработки, состояния поверхности, размеров образца и др. Прочность стекла на сжатие достигает 700...1000 МПа, на растяжение — 30...80 МПа, прочность на растяжение стекловолокна диаметром 10^{-4} см составляет 200...500 МПа, т. е. в 10 раз больше. На прочность стекла оказывают влияние внутренние дефекты, инородные включения (непровар, частицы огнеупора от футеровки печи и т. п.) и свиль (химически неоднородные участки).

Основным недостатком стекла является хрупкость, определяемая рядом факторов. Основной из них — отношение модуля упругости материала к прочности при растяжении E/R ; чем больше это отношение, тем при меньшей деформации напряжение в материале достигает предела прочности. Модуль упругости стекла составляет $4,5 \cdot 10^4 \dots 9,8 \cdot 10^4$ МПа.

Обычное силикатное стекло хорошо пропускает всю видимую часть спектра и практически не пропускает ультрафиолетовые (длина волны менее 300 мкм) и инфракрасные (длина волны более 3000 мкм) лучи. Изменяя химический состав стекла и его окраску, можно регулировать светопропускание стекла в этих областях.

Показатель преломления строительного стекла (1,50...1,52) определяет силу отраженного света и светопропускаемость стекла при разных углах падения света. Так, при изменении угла падения света с 0 (перпендикулярно плоскости стекла) до 75° светопропускание стекла уменьшается с 92 до 50%. Светопроломление оконного стекла принимают равным 1,5, а светопропускаемость стекла в зависимости от длины волны видимого спектра достигает 97%. По оптическим свойствам различают прозрачное, окрашенное, бесцветное и рассеивающее свет стекло. Силикатное стекло обладает высокой стойкостью к воздействию агрессивных веществ, за исключением плавиковой и фосфорной кислот.

Оконное листовое стекло является наиболее распространенным видом плоского стекла. Светопропускаемость оконного стекла в зависимости от толщины, которая составляет 2...6 мм, равна 85...90%. Исходным сырьем для получения строительного листового стекла служат кварцевые пески, сульфат натрия или кальцинированная сода, известняк, доломит, уголь и некоторые другие вещества.

Производство строительного стекла (рис. 4.1) состоит из следующих основных операций. Подготовка составляющих материалов заключается в сушке и очистке песка от посторонних примесей, дроблении и сушке мела, доломита и помоле угля. Состав-

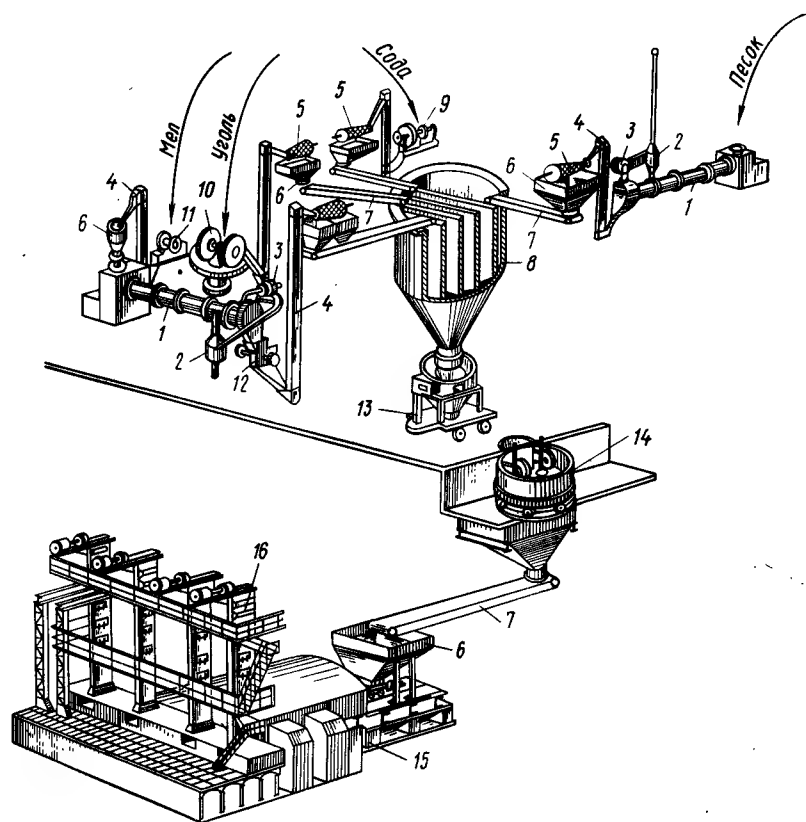


Рис. 4.1. Технологическая схема производства строительного стекла:
1 — сушильный барабан; 2 — циклоны; 3 — вентилятор; 4 — элеватор; 5 — сито; 6 — бункер; 7 — транспортер; 8 — секционный бункер (склад мела, угля, соды и пр.); 9 — дезинтегратор; 10 — бегуны; 11 — шековая дробилка; 12 — молотковая дробилка; 13 — вагонетка-весы; 14 — смещение шихты; 15 — стекловаренная печь; 16 — машина для вытягивания стекла

ляющие материалы дозируют и перемешивают. Подготовленная шихта расплавляется в специальных печах непрерывного (ванн-печи) или периодического (горшковые печи) действия. Варку сырьевой шихты производят при температуре 1100...1200°C до полного отделения всех примесей, которые собираются на поверхности в виде пены. В этот период происходит и обесцвечивание стекла путем введения специальных добавок, а также удаление пузырьков воздуха и газа. Затем из расплавленной массы с помощью машин вертикального или горизонтального типа вытягивают ленту стекла, которая проходит между валками машины, охлаждается и отжигается для снижения хрупкости.

На рис. 4.2 приведен безлодочный способ вытягивания стекла. Листовое стекло можно получить также способом литья с по-

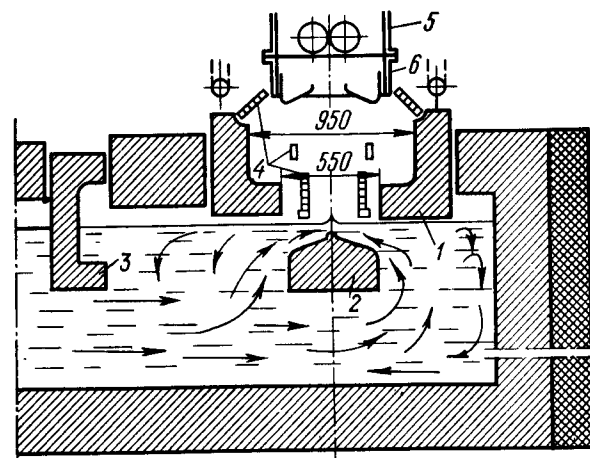


Рис. 4.2. Схема поперечного разреза подмашинной камеры для безлодочного вытягивания стекла:

1 — блок; 2 — шмотное тело (поплавок); 3 — противовесный мост; 4 — холодильник; 5 — машина ВВС; 6 — коробка для улавливания боя стекла

следующей прокаткой. Для этого стеклянную массу выливают на гладкую поверхность и прокатывают гладкими или узорчатыми валками.

● **Орнаментное стекло** является разновидностью листового оконного стекла, получаемого способом литья. Это стекло имеет одну сторону гладкую, а другую — тисненую, узорчатую.

● **Армированное стекло** получают методом непрерывного проката с одновременным закатыванием внутрь листа металлической сетки. Поточная линия состоит из ванной печи, прокатной машины, печи отжига и устройства для резки ленты стекла. Стекло-масса из ванной печи поступает в прокатную машину, куда подается стальная термически обработанная сварная или крученая сетка; проходя между валками одновременно со стекломассой, сетка закатывается внутрь листа. Армированное стекло может иметь гладкую, кованую или узорчатую поверхность, быть бесцветным или цветным. Оно обладает повышенной огнестойкостью (до 1,3 ч). При его разрушении осколки удерживаются армирующей металлической сеткой. Светопропускаемость составляет не менее 60%. Армированное стекло выпускают длиной 1200...2000 мм, шириной 400...1500 мм и толщиной 5,5 (± 7) мм. Предел прочности при сжатии 600 МПа и при изгибе 30...40 МПа. Армированное стекло применяют для остекления фонарей верхнего света, оконных переплетов, устройства перегородок, ограждения балконов, лестничных маршей и др. Установку армированного стекла производят на лестничных площадках из морозостойкой резины или на нетвердеющих мастиках.

● **Цветное армированное стекло** получают из стекломассы, окрашенной в процессе варки оксидами металлов. Основные цвета — золотисто-желтый, зеленый, лилово-розовый, голубой.

Применяют его для ограждения балконов, лоджий, лестниц, лифтовых шахт, для устройства декоративных светопрозрачных плафонов и перегородки в жилых домах и санаториях, пансионатах, на предприятиях общественного питания и торговли, а также в других общественных и промышленных зданиях. Максимальные размеры цветного армированного стекла 800×1500 мм при толщине (6 ± 1) мм.

- **Защитное стекло** получают специальной термической обработкой (для повышения прочности и упругости); предназначено оно для остекления автотранспорта.

- **Солнце- и теплозащитное стекло** изготавливают на машинах вертикального вытягивания путем аэрозольной обработки поверхности стекла специальными растворами. В зависимости от состава растворов и условий обработки можно получить стекла с неодинаковой степенью пропускания и отражения в различных частях спектра. Солнце- и теплозащитное стекло применяют для остекления зданий и средств транспорта с целью уменьшения солнечной и тепловой радиации. Размеры стекла 1600×2000 мм, толщина 3...6 мм. Пропускание видимого света 30...70%, тепловых лучей 40...60%. Цена 1 м² солнцезащитного стекла в заводском ассортименте в 1,5 и мерного в 1,7 раза выше цены оконного стекла соответствующих размеров и толщины.

- **«Витрасил»** — стекло, обладающее способностью рассеивать свет по всему помещению. Оно не оказывает слепящего действия и не вызывает утомления у человека. Это стекло является также хорошим тепло- и звукоизолятором.

- **Теплопоглощающее стекло**, окрашенное в массу, содержит в своем составе специальные добавки, обесцвечивающие преимущественное поглощение инфракрасных лучей солнечного спектра. Теплопоглощающее листовое стекло имеет легкую голубую или голубовато-зеленую окраску, почти не искажающую просматриваемый через него предмет. Оно предназначено для заполнения оконных проемов с целью уменьшения солнечной радиации в музеях, выставочных залах и др. Пропускная способность видимого света не менее 65%, инфракрасных лучей — не более 35%. Размеры стекла до 1600×2000 мм, толщина 3...4 мм.

- **Облицовочное стекло** применяют для облицовки панелей стен жилых и общественных зданий. Это стекло устойчиво против атмосферных влияний и гигиенично.

За рубежом выпускают новые виды строительного стекла, уменьшающие нагрев помещений от солнечных лучей. В США производят серое и бледно-голубое теплопоглощающее стекло, а также звукопоглощающее стекло с промежуточным слоем, поглощающим звук до 66%. Широкое распространение в США получило стекло, покрытое тонкими оксидометаллическими пленками, отражающими до 30% и более солнечных лучей.

- **Профильное строительное стекло** представляет собой элементы швеллерного и коробчатого сечения, формируемые на горизон-

тальных прокатных установках, в виде бесконечной ленты, разрезаемой затем на отрезки длиной до 6000 мм. Профильное стекло может быть бесцветным или окрашенным. Для получения швеллерного профиля борта ленты стекла отгибаются под углом 90°. Профильное стекло коробчатого сечения носит название «сектор». При его изготовлении борта ленты стекла, пройдя через формующее устройство, отгибаются до получения коробчатого профиля. В месте соединения бортов образуется шов на лицевой поверхности изделия. Профильное стекло обычно монтируется поштучно. Возможно изготовление укрупненных сборных светопрозрачных конструкций из профильного стекла на домостроительных комбинатах или полигонах. При изготовлении конструкций из стеклодеталей между ними необходимо прокладывать различные герметики — мастики или специально изготовленные профилированные детали из губчатой резины или синтетических материалов.

Профильное стекло коробчатого сечения производят марок КП-250 и КП-300, длиной до 6,0 м, шириной $244...294 (\pm 5)$ мм, высотой $50...55 (\pm 2,5)$ мм и толщиной стенки 5,5 мм. Профильное стекло швеллерного сечения производят марок ШП-250 и ШП-300, длиной до 4,2 м, шириной $244...294 (\pm 5)$ мм, высотой $35...50 (\pm 2,5)$ мм. Масса 1 м швеллерного сечения 5...6 кг, а коробчатого 9...10,5 кг.

Конструкция из профильного стекла в виде остекленных поверхностей дают мягкий рассеивающий свет, светопропускание 43...53%. Стена из коробчатых (в один ряд) или швеллерных (в два ряда) стеклодеталей по своим акустическим свойствам не уступает глухим межкомнатным оштукатуренным перегородкам из кирпича и других материалов. Звукоизоляция таких конструкций составляет 27...18 дБ, коэффициент теплопередачи 2,5...5,2 Вт/(м·°C). Предел прочности при изгибе конструкций из профильного стекла швеллерного сечения составляет 17,5 МПа, а коробчатого сечения — 10,5 МПа, огнестойкость конструкции 15 мин.

Профильное стекло используют для светопрозрачных ограждений и самонесущих стен в промышленном, гражданском и сельскохозяйственном строительстве, для устройства внутренних перегородок и прозрачных плоских кровель в различных типах зданий. Профильное стекло можно применять в виде крупногабаритных панелей. Такое стекло устойчиво против воздействия концентрированных кислот, щелочей и влаги. Профильное стекло можно применять в сочетании с металлическими, бетонными, кирпичными или деревянными элементами зданий. Профильное стекло швеллерного сечения выпускают бесцветным и цветным, неармированным и армированным стальной проволокой. Оно характеризуется повышенной огнестойкостью и безопасностью при разрушении.

- **Стекланные блоки** представляют собой полые, пропускающие свет изделия с разнообразной фактурой внутренней или наруж-

ной поверхности. В зависимости от профиля и размера стенок блока изменяются интенсивность и направленность световых лучей, а также создается равномерное освещение отдельных участков и больших площадей в зданиях. В зависимости от требований к естественному освещению через светопроемы могут использоваться стеклоблоки светорассеивающие, прозрачные и светонаправляющие.

Стекланные блоки получают свариванием в нагретом состоянии двух полублоков. Оставшийся внутри блока воздух (при некотором его разрежении) значительно уменьшает коэффициент теплопроводности стекланных блоков, который равен в среднем $0,4 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{С)}$. Стекланные блоки создают мягкое рассеянное освещение, увеличивают глубину естественной освещенности, исключают сквозную видимость. Ограждения из стеклоблоков обладают высокой огнестойкостью (до 2,4 ч) и звукоизолирующей способностью (38...40 дБ). Светопропускание бесцветных блоков составляет 50...56%, а цветных — 35...40%. Стекланные блоки долговечны и гигиеничны. Стекланные блоки используют в фасадах промышленных зданий, для освещения лестничных клеток гражданских зданий и разного рода складских помещений, требующих верхнего света, а также в архитектурно-декоративных целях. Стекланные блоки с успехом применяют в цехах с агрессивной средой, а также в цехах, где характер производства требует создания постоянных климатических условий.

● **Стеклопакеты** представляют собой два или несколько листов стекла, герметично соединенных между собой по периметру. Между стеклами имеется полость, заполненная сухим воздухом. Стеклопакеты изготовляют из оконного, витринного, армированного, узорчатого и других стекол толщиной 2...8 мм, площадью до 5 м^2 , расстояние между стеклами 15...20 мм, максимальный размер стеклопакетов $2300 \times 1900 \text{ мм}$, минимальный $300 \times 300 \text{ мм}$. Стеклопакеты выдерживают большую ветровую нагрузку, чем отдельные стекла той же толщины. При остеклении стеклопакетами упрощается конструкция оконных проемов, увеличивается световая площадь и снижаются теплопотери. Коэффициент теплопередачи стеклопакетов составляет $2,4...1,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{С)}$. Светопропускание в зависимости от применяемого вида стекол меняется в больших пределах: от 30 до 80%. Стеклопакеты обладают достаточной звукоизолирующей способностью — 29...32 дБ. Применяют их для остекления промышленных, гражданских и общественных зданий.

● **Стемалит** представляет собой закаленное листовое стекло различной фактуры, покрытое с одной стороны глухими керамическими красками различных цветов (желтого, синего, красного, серого, черного и др.). Стемалит изготовляют из неполированного витринного или прокатного стекла толщиной 6...12 мм, площадью до 3 м^2 . Плотность стемалита $2450...2500 \text{ кг/м}^3$, предел прочности при сжатии 800 МПа, а при изгибе — 180 МПа. Тем-

пературный коэффициент линейного расширения составляет $90 \cdot 10^{-7} ^\circ\text{С}$. Этот материал отличается высокой устойчивостью против атмосферных воздействий, постоянством цвета, прочностью, термической стойкостью. Стемалит предназначен для наружной и внутренней облицовки зданий, для изготовления многослойных панелей, устройства перегородок, а также ограждения лестничных маршей и балконов.

● **Стевит** представляет собой изделие, состоящее из двух герметически соединенных по периметру с помощью герметика и окантованных водостойкой эластичной лентой, между которыми заключена светорассеивающая прокладка из стекловолоконного нетканого холста. Максимальные размеры стевита 1200...2000 мм; общая толщина в зависимости от толщины стеклохолста 7...15 мм. Коэффициент светопропускания в зависимости от толщины (1...4 мм) стекловолоконистой прокладки 26...58%; коэффициент светорассеивания 32...67; коэффициент теплопередачи $2,4...3,87 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{С)}$. Стевит применяют для заполнения оконных проемов, остекления фонарей верхнего света, а также для устройства светопропускающих перегородок в промышленных и общественных зданиях, на предприятиях торговли, общественного питания, в лечебных и учебных заведениях, библиотеках, музеях и других сооружениях, где требуется светорассеивающее остекление, исключающее сквозную видимость и уменьшающее солнечную радиацию. Стевит поставляют полной заводской готовности, не требующей механической обработки и резки.

● **Дверные полотна** изготовляют из листового подвергнутого специальной термической обработке (закалке) стекла. Стекланные полотна для дверей представляют собой листы утолщенного полированного, неполированного, прокатного узорчатого стекла с обработанными кромками, отверстиями и вырезками для крепления дверных приборов. Стекланные полотна выпускают бесцветные, прозрачные, с полированной и неполированной поверхностью, а также цветные и бесцветные светорассеивающие с узорчатой или кововой поверхностью. Цветные полотна могут быть желтыми, голубыми и зелеными. Стекланные бесцветные полотна применяют для наружных и внутренних дверей в жилых, общественных и промышленных зданиях. Цветные полотна используют только для внутренних дверей. Двери из полированного и неполированного стекла зрительно расширяют объем помещений и связывают их с внешней средой. Цветные и бесцветные полотна из прокатного и узорчатого стекла применяют в помещениях, где необходимо исключить сквозную видимость. Максимальные размеры полотен из полированного стекла $2400 \times 1040 \text{ мм}$ и узорчатого $2400 \times 900 \text{ мм}$, толщина стекла 10...15 мм. Масса 1 м^2 полотна 25...28 кг (в зависимости от толщины), термическая стойкость (резкий перепад температур) $80...90 ^\circ\text{С}$, светопропускание на 10 мм толщины полированного и неполированного стекла не менее 84%, а прокатного узорчато-

го 80...90%. Предел прочности при сжатии 800...900 МПа и при изгибе 250 МПа. Дверные полотна обладают повышенной прочностью и выдерживают, не разрушаясь, удар свободно падающего с высоты 1500 мм стального шара массой 800 г.

● **Витринное стекло** изготавливают из полированного и неполированного стекла толщиной 6...12 мм, площадью полотен 4...12 м². Его получают способом горизонтального проката с последующей шлифовкой и полировкой поверхностей. В настоящее время внедряется новый метод получения витринного полированного стекла по методу плавающей ленты. По этому методу исключена необходимость шлифовки и полировки поверхностей; стеклянная лента после расплава приобретает полированную поверхность. Витринное стекло характеризуется высоким пределом прочности на сжатие — до 1200 МПа. Оно может быть плоским и гнутым. Применяют витринное стекло для остекления внутренних и наружных витрин и проемов в магазинах, ресторанах, аэропортах и т. д.

● **Стеклянную коврово-мозаичную плитку** изготавливают в форме квадратов из непрозрачного прессованного или прокатного стекла различного цвета с глянцевой или матовой поверхностью размерами 18 × 18 × 4; 22 × 22 × 4; 23 × 23 × 4 мм. Плитки характеризуются высокой долговечностью и постоянством цвета. Стеклянную коврово-узорчатую плитку применяют для наружной облицовки стеновых панелей и внутренней отделки помещений. Она позволяет обеспечить индустриальную отделку железобетонных панелей.

● **Стеклянные трубы** получили широкое распространение в пищевой, фармацевтической, химической и других отраслях промышленности для транспортирования агрессивных жидкостей. Трубопроводы из стекла прозрачны, гигиеничны и имеют гладкую поверхность, что уменьшает сопротивление перемещаемых в них жидкостям. Стеклянные трубы изготавливают способом вертикального или горизонтального вытягивания и центробежным способом. Соединение стеклянных труб осуществляют с помощью соединительных и уплотняющих устройств — муфт, резиновых манжет с затяжкой металлическими поясами. Коррозионно-устойчивые трубы выпускают диаметром 15...65 мм и длиной 100...300 мм для жидкости с температурой до 120°C и давлением 0,3 МПа.

● **Стеклобетонные конструкции** в зависимости от несущей способности, свето- и звукоизоляции, а также других свойств подразделяют на стеновые, конструкции покрытий и конструкции сводов и куполов. В этих конструкциях несущей частью является железобетонный каркас, а стеклянные блоки заполняют световое пространство каркаса. Стеклобетонные стеновые конструкции могут успешно использоваться для производственных и культурно-бытовых помещений, вокзалов, выставочных павильонов. Стеновые конструкции (панели, блоки и др.) обладают необходимыми тепло- и звукоизоляционными свойствами, хорошо освещают

помещение, гигиеничны, не нуждаются в специальной отделке.

● **Стеклянная вата** представляет собой материал, состоящий из тонких (5...6 мкм) гибких нитей. Стеклянная вата обладает высокой прочностью на разрыв, химической стойкостью, низкой звуко- и теплопроводностью. Стеклянную вату получают способом *механического вытягивания, центробежным и дутьевым* (газоструйным) способами. При центробежном способе сырьем служит стекольный бутылочный бой, который моют и загружают в специальный ковш, где он расплавляется и при температуре 1300...1400 °C стекает в чашу. Далее стеклянная масса тонкой струей направляется на быстро вращающийся диск. Центробежной силой расплавленная масса отрывается от диска и вытягивается в тонкие нити. При *дутьевом* способе формирование волокон производят путем раздувки расплавленной стеклянной массы струей газа (рис. 4.3). Струя газа, выходящая с большой скоростью, вытягивает стеклянную массу в тонкие волокна, которые затем подхватываются транспортером из тонкой сетки и подаются для последующей обработки.

Стеклянную массу используют в качестве тепло- и звукоизоляционного материала в промышленности и строительстве. Она эластична, устойчива к температурным изменениям, химически стойка, не поддается гниению и горению. Стеклянную вату можно применять в качестве наполнителя (вместо асбеста) при изготовлении асбоцементных изделий, а также в качестве тонкого заполнителя для штукатурных и отделочных растворов. В смеси с полимерами получают материал — стеклопластик. За рубежом (в Японии и других странах) стеклянную вату используют для изготовления антикоррозионных стекломатов на фенольной смоле. Стекломаты обладают высокими диэлектрическими свойствами, стойки против коррозии в агрессивных химических средах. Стекломаты выпускают в виде рулонного материала и используют для изоляции газовых и водяных трубопроводов.

● **Пеностекло и газостекло** получают путем вспучивания расплава размоленного стекла, смешанного с веществом (известняком, углем), которое при температуре 750...850°C способно выделять газ. Пеностекло является хорошим тепло- и звукоизоляционным материалом, обладает малой плотностью (200...600 кг/м³) и низким коэффициентом теплопроводности

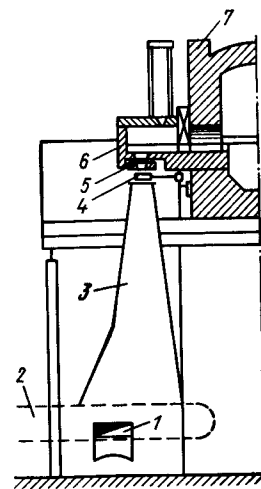


Рис. 4.3. Схема производства стеклянной ваты дутьевым способом:

1 — канал для отсоса; 2 — транспортер из тонкой сетки; 3 — отводный желоб; 4 — отводное паровое сопло; 5 — платиновая ванночка; 6 — фидер (капельный питатель); 7 — плавильная печь

[0,06...0,2 Вт/(м·°С)]. Водопоглощение не более 2%, предел прочности при сжатии 4,0...6,5 МПа, а при изгибе 0,5...3,5 МПа. Пеностекло применяют в народном хозяйстве для теплоизоляции тепловых и холодильных установок, звукоизоляции общественных и коммунально-бытовых помещений и т. д.

§ 4.3. Материалы и изделия из каменного литья

● Сырьем для получения каменного литья служат горные породы магматического происхождения, преимущественно базальты и диабазы, обладающие пониженной вязкостью в расплавах. По своему химическому составу базальты более постоянны, а каменное литье из них обладает высокой химической стойкостью и прочностью на истирание. В качестве сырья для получения светлого каменного литья используют 45% кварцевого песка, 34% доломита, 21% мела или мрамора. Кроме основных материалов в шихту для снижения температуры плавления добавляют 3% плавикового шпата и 0,8% оксида цинка для отбеливания расплава. Перед загрузкой в печь сырьевые материалы измельчают в заданном соотношении.

Для плавки шихты применяют шахтные, ваннные, вращающиеся электрические печи. Наиболее распространены ваннные печи, работающие с небольшой примесью измельченных материалов. Плавку в ваннных печах производят при температуре 1450 °С. Готовый расплав из ванны стекает в разливочный копильник, где охлаждается до температуры 1250 °С. Охлаждение расплава перед заливкой благоприятно сказывается на структуре отливаемых изделий и уменьшает количество усадочных дефектов (трещин, раковин). Для заливки расплава применяют формы (кокили) из чугуна или жароупорной стали (постоянные формы), из силикатных материалов (временные формы) и земляные (одноразовые формы).

Для уменьшения внутренних напряжений, возникающих при охлаждении, отливки подвергают кристаллизации и отжигу. Степень кристаллизации расплава изменяется в зависимости от свойств расплава и размеров изделий. Кристаллизацию и отжиг производят в специальных печах (муфельных, туннельных или камерных) при температуре 800...900 °С, затем изделия перемещают в зону отжига, а оттуда на склад готовой продукции. Материалы из каменного литья обладают высокими прочностью, износостойкостью и стойкостью в химически агрессивных средах.

Изделия из каменного литья находят широкое применение в угольной, горно-обогатительной и металлургической промышленности для футеровки бункеров, течек, корпуса флотационных машин и т. д. Плитки из каменного литья с успехом заменяют металл; их используют для полов в цехах с агрессивными средами и для футеровки аппаратов, подверженных сильному истирающему воздействию. Изделия из каменного литья применяют на химических заводах в качестве футеровки травильных ванн, всевозможных отстойников.

§ 4.4. Материалы и изделия из шлаковых расплавов

Степень использования отходов промышленности для производства строительных материалов и конструкций в настоящее время весьма низка. Так, в промышленном масштабе для изготовления строительных материалов применяют только незначительную часть расплавленных шлаков; основное же количество доменных шлаков текущего производства и отвальных шлаков почти не используют. По данным Гипромеза, слив шлака в отвалы обходится ежегодно более чем в 10 млн. руб., а для организации отвалов необходимы значительные площади и капиталовложения до 1,5 руб. на 1 т сливаемого шлака.

Вместе с тем огненно-жидкие шлаки металлургической промышленности служат ценным сырьем для получения различных материалов и изделий. Производство изделий из шлаковых расплавов выгодно и экономично, поскольку не требует дополнительных затрат топлива, отпадает необходимость в специальных плавильных печах и значительно снижаются удельные капитальные вложения и себестоимость единицы продукции. Однако для обеспечения надлежащего качества выпускаемых изделий шлаковые расплавы нуждаются в обогащении специальными добавками, что несколько усложняет их производство.

● Из огненно-жидких шлаков получают изделия для покрытий полов промышленных предприятий, облицовочные плитки, используемые в коррозионных средах, тубинги для крепления горных выработок, легкие материалы — термозит, шлаковую вату и др.

● Термозит представляет собой ячеистый материал, получаемый в результате вспучивания расплавленного шлака при быстром его охлаждении. Вспучивание шлака осуществляется в специальных машинах центробежным способом, на каскадных лотках или в бассейнах.

При центробежном способе (рис. 4.4) расплавленный шлак сливают в приемный бункер, из которого затем подают в центробежную машину. Одновременно в последнюю поступает и вода. Расплавленный шлак под действием вращающейся крыльчатки распыляется, вспучивается парами воды и под действием центробежной силы отбрасывается на охлаждающий экран. Под охлаждающим экраном расположены приемный бункер и транспортер для удаления готового термозита.

При производстве термозита на каскадных лотках струя шлакового расплава, стекая с полки на полку, попадает между двух струй воды, которая, испаряясь, вспучивает расплав. Каскадный лоток (рис. 4.5) представляет собой металлическую четырехступенчатую конструкцию с наклонными полками, впереди которых расположены перфорированные трубы для подачи воды.

Бассейновый способ заключается в том, что в металлический ящик размером 6×6 м поступает шлаковый расплав. В днище

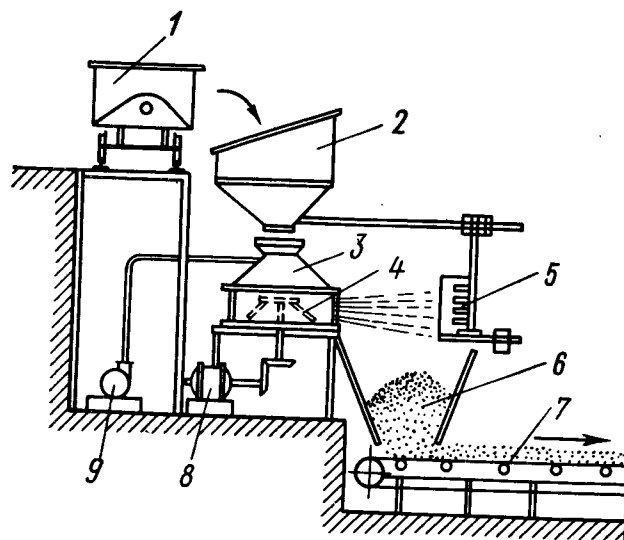


Рис. 4.4. Технологическая схема производства термозита (шлаковой пемзы): 1 — жидкий шлак; 2 — бункер; 3 — центробежная машина; 4 — крыльчатка; 5 — охлаждающий экран; 6 — бункер для вспученного шлака; 7 — транспортер; 8 — привод крыльчатки; 9 — насос для подачи воды

ящика имеются отверстия, а под ящиком — специальные карманы, в которые под давлением поступает вода. Струи воды, подающиеся снизу, пронизывают слой расплавленного шлака и вспучивают его под действием образующегося пара и выделяющихся газов.

Насыпная плотность термозита $300...1100 \text{ кг/м}^3$ в зависимости от размеров кусков и степени вспучивания. Щебень из термозита является хорошим заполнителем для легких термозитобетонов. При заливке расплавленного шлака в специальные формы можно получать изделия различного профиля и конфигурации. Для уменьшения напряжений и предотвращения образования трещин в период кристаллизации и последующего охлаждения изделий в формы перед их заливкой укладывают стальную арматурную сетку.

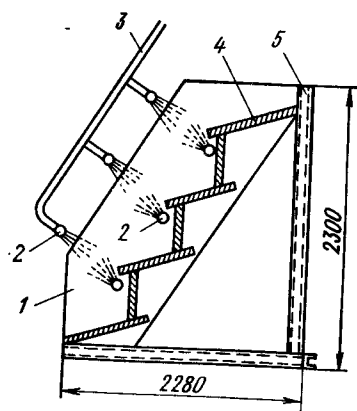


Рис. 4.5. Схема каскадного лотка:

1 — боковая стенка лотка; 2 — перфорированные трубы; 3 — магистральный водопровод; 4 — каскады; 5 — металлический корпус

Проведенные НИИЭС Госстроя СССР, НИИполимеркровли МПСМ СССР и другими организациями исследования показывают, что в местах размещения металлургических заводов и ближайших районах

преимущественное применение в ограждающих и несущих легкo-бетонных конструкциях должна найти шлаковая пемза как весьма эффективный в экономическом отношении материал. Себестоимость шлаковой пемзы в 2...3 раза ниже керамзита. Соответственно в 1,5...2 раза ниже и уровень удельных капитальных вложений на ее производство. Анализ фактических показателей производства и применения наружных легкoбетонных стен на основе шлаковой пемзы и керамзита показывает, что стоимость 1 м^2 наружных шлакопемзобетонных стен является минимальной.

● Шлаковая вата представляет собой материал, состоящий из тончайших волокон, получаемых из расплавленных расплавов, у которых модуль кислотности больше единицы. При производстве шлаковой ваты (рис. 4.6) в вагранку загружают доменный шлак соответствующего состава и крупности (до $50...70 \text{ мм}$) и топливо, обладающее высокой механической и термической прочностями. В качестве топлива используют кокс, антрацит, древесный уголь. При температуре $1200...1400^\circ\text{C}$ шлаковый расплав, вытекающий через летку вагранки, раздувается струей пара и в камере осаждается в виде тонких нитей. Из камеры осаждения минеральная вата с помощью транспортера перемещается в камеру охлаждения

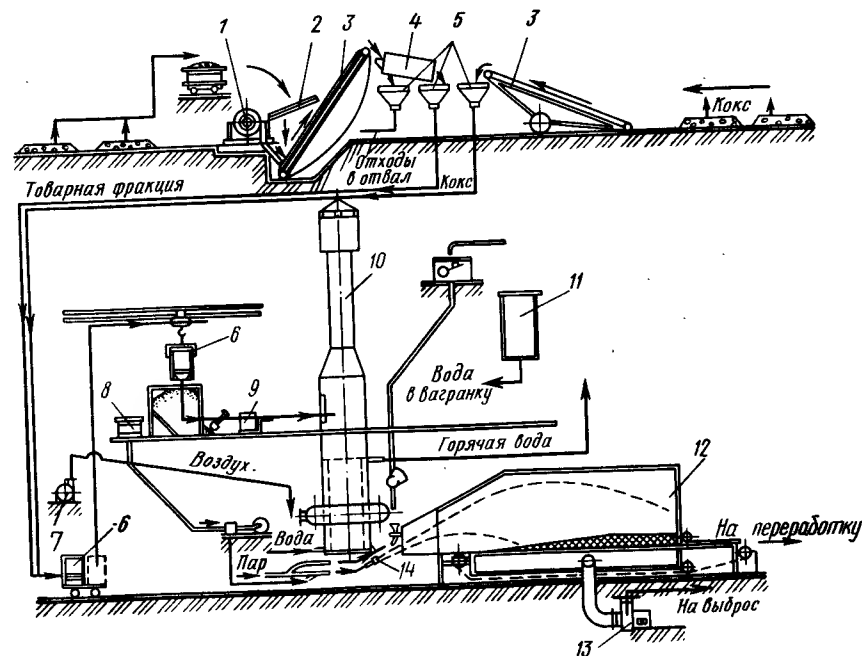


Рис. 4.6. Технологическая схема производства шлаковой ваты:

1 — шедовая дробилка; 2 — просеивание дробленого щебня; 3 — транспортер; 4 — грохот; 5 — бункера; 6 — вагонетки, транспортирующие смеси на склад; 7 — вентилятор; 8 — весы; 9 — вагранка; 10 — камера охлаждения; 11 — бак с водой; 12 — камера сушки; 13 — вентилятор; 14 — сопло подачи пара

ния и далее на пост изготовления матов. На этом посту перемещаемый слой шлаковой ваты выравнивают, обклеивают бумагой или картоном, режут на куски заданной длины и отправляют на склад готовой продукции. Плотность матов 250...300 кг/м³, а теплопроводность 0,05 Вт/(м·°С). Изделия из минеральной ваты широко используют в качестве звуко- и теплоизоляционных материалов, они обладают высокой температуростойкостью и могут с успехом применяться для утепления всевозможных ограждающих строительных конструкций.

§ 4.5. Ситаллы и шлакоситаллы

● Ситаллы представляют собой стеклокристаллические материалы, получаемые из стекла в результате его полной или частичной кристаллизации. Сырьем для получения ситаллов служат те же природные материалы, что и для стекла, а также ряд специальных добавок (например, соединения лития). К чистоте сырья предъявляют очень высокие требования. Ситаллы получают методом вытягивания, выдувания, прокатки и прессования, добавляя к стеклянным расплавам специальные добавки (минерализующие катализаторы), улучшающие кристаллизацию. По сравнению с производством изделий из стекла получение ситаллов требует дополнительной термической обработки, в процессе которой происходит превращение стекла в стеклокристаллическое состояние. В качестве катализаторов кристаллизации применяют соединения фторидов или фосфатов щелочных или щелочно-земельных металлов, способных легко кристаллизоваться из расплавов. Ситаллы имеют большую прочность (до 500 МПа) и высокую стойкость к химическим и тепловым воздействиям. По внешнему виду ситаллы могут быть темного, коричневого, серого, кремового, светлого цветов, глухие (непрозрачные) и прозрачные. Они обладают хорошими диэлектрическими свойствами и могут широко использоваться для производства различных электротермостойких изоляторов. На основе ситаллов получают различные клеи для склеивания металла, стекла, керамики. Они могут использоваться в виде конструктивного и отделочного материала в промышленном и гражданском строительстве.

● Шлакоситалл — это стеклокристаллический материал, получаемый путем управляемой гетерогенной кристаллизации стекла, сваренного на основе металлургического шлака, кварцевого песка и некоторых добавок и характеризующийся мелкозернистой кристаллической структурой. Листовой шлакоситалл производят белого и серого цветов с гладкой или рифленой поверхностью. При необходимости поверхность шлакоситалла шлифуют, полируют и фрезеруют. Шлакоситалловые листы можно окрашивать в различные цвета путем нанесения на их поверхность керамических глазурей. Шлакоситалл обладает высокой химической стойкостью, износостоек, водонепроницаем, отличается повышен-

ной механической прочностью и твердостью по сравнению со стеклом и каменным литьем. Физико-механические свойства шлакоситалла характеризуются следующими данными: плотность — 600...2700 кг/м³, прочность при изгибе — 65...110 МПа, прочность на сжатии — 250...550 МПа, удельная ударная вязкость — 0,3...0,35 МПа·см, потеря в массе при истирании — 0,03...0,06 г/см², термостойкость образца размером 30×30×4 мм — 100...150 °С, кислотостойкость в 96%-ной H₂SO₄ — 99,1...99,9% и щелочестойкость в 35%-ной NaOH — 80...85%.

Производство листового шлакоситалла отличается высокой степенью механизации и автоматизации. Шихту для белого шлакоситалла готовят на обычном оборудовании стекольного производства. Стекло для шлакоситалла варится в ванной печи непрерывного действия. Изготовление листового шлакоситалла осуществляется на непрерывно действующей поточно-механизированной линии. Сваренная масса подается на формование в прокатную машину, рассчитанную на получение непрерывной ленты шириной 1,6 м, толщиной 7...10 мм. Отформованная лента стекла подвергается теплообработке в печи-кристаллизаторе непрерывного действия с газовым обогревом, в результате чего стекло превращается в мелкозернистый стеклокристаллический материал. На открытой части рольганга печи-кристаллизатора производится поперечный и продольный автоматический раскрой ленты на изделия заданных размеров.

Шлакокристаллы могут быть получены любого цвета, а по долговечности они конкурируют с базальтами и гранитами.

Сочетание физических и механических свойств шлакоситаллов обуславливает возможность их широкого использования в строительстве: для полов промышленных и гражданских зданий, декоративной и защитной облицовки наружных и внутренних стен, перегородок, цоколей, футеровки строительных конструкций, подверженных химической агрессии или абразивному износу, кровельных покрытий отапливаемых и неотапливаемых промышленных зданий, облицовки слоистых панелей навесных стен зданий повышенной этажности.

Экономический эффект использования изделий из шлакоситаллов обуславливает дальнейшее расширение номенклатуры изделий. Все более широкое развитие получает производство пеношлакоситаллов, обладающих малой плотностью 300...600 кг/м³, прочностью при сжатии до 14 МПа, теплопроводностью 0,08...0,16 Вт/(м·°С) и рабочей температурой до 750 °С.

● Ситаллопласты представляют собой материалы, получаемые на базе пластических масс (фторопластов) и ситаллов. Ситаллопласты обладают высокой износостойкостью и химической стойкостью. Они находят применение в качестве антифрикционных и конструктивных материалов, а также могут использоваться в промышленности, где ни ситаллы, ни пластмассы, отдельно взятые, не удовлетворяют требованиям высокой пластичности, износостойкости и химической стойкости. Для изготовления

ситаллопластов ситаллы измельчают до получения порошка заданного гранулометрического состава. Дальнейший процесс отличается от технологии изготовления пластмасс, разница лишь та, что с добавкой ситалла усадка пластмассы будет меньше.

§ 4.6. Экономика производства материалов и изделий из минеральных расплавов

Ассортимент производства в СССР материалов и изделий из минеральных расплавов достаточно широк. Особенно быстрое развитие в последние годы получили теплоизоляционные материалы, а также специальные виды строительного и технического стекла. Это объясняется большой экономической эффективностью изделий. Материалы и изделия из каменных и стеклянных расплавов требуют значительно меньших затрат на содержание их при эксплуатации, не нуждаются в окраске и побелке, имеют хорошие декоративные качества, а расходы на чистку и мытье значительно ниже, чем уход за различного рода штукатуркой или другими отделочными материалами. Замена металлических трубопроводов трубами из стекла (в пищевой промышленности) обеспечивает значительную экономию металла, снижает производственные расходы по их промывке, а также не влияет на вкусовые качества продуктов. Все это обусловило высокие темпы роста производства изделий из минеральных расплавов в истекшем пятилетии. Выпуск оконного стекла в 1985 г. составил 243 млн. м², армированного — до 3,9 млн. м², полированного — 40,0 млн. м².

Заводы оконного стекла характеризуются высоким уровнем концентрации (Саратовский, Гусевский, Салаватский и др.). Они оснащены мощными многомашинными системами вертикального вытягивания стекла и высокопроизводительными конвейерами для изготовления полированного стекла. Рост выпуска продукции в стекольной промышленности в последние годы осуществляется за счет совершенствования процессов стекловарения на основе повышения температуры варки стекла, увеличения площади варочных бассейнов стекловаренных печей, применения высокоустойчивых огнеупоров и внедрения новых высокопроизводительных технологических способов изготовления стекла.

Анализ себестоимости важнейших видов изделий стекольной промышленности свидетельствует о наличии значительных резервов снижения ее, особенно по оконному стеклу и закаленному непотированному плоскому стеклу. В общей структуре затрат на производство строительного и технического стекла наибольший удельный вес занимают сырье и материалы — 40,3% (в том числе 15,6% вспомогательные материалы), заработная плата — 29,2%, топливо и электроэнергия — 13,8%. На долю амортизации приходится 8,4%, прочих денежных расходов — 8,3%.

Важнейшим фактором увеличения выпуска продукции, повышения ее качества и снижения себестоимости является совершенствование

процессов варки стекла. Повышение температуры варки с 1480 до 1550 °С позволяет увеличить удельную производительность печей на 30...35% и улучшить качество в результате получения более однородной стекломассы. Другим важным средством интенсификации процессов стекловарения (на 12...15%) является применение химически активных добавок в шихту.

Принудительное бурление стекломассы в бассейнах ванн печей проточного типа с помощью сжатого воздуха позволяет повысить однородность стекломассы и снизить на 10...15% потери от брака. Применение газозлектрической и электрической варки стекла для выработки стеклянной тары повышает производительность проточных ванн печей на 30...50%. Автоматизация управления режимами работы стекловаренных печей дает возможность стабилизировать теплотехнические и технологические параметры, повысить качество продукции, уменьшить технологические отходы и улучшить условия труда.

Анализ работы печных установок показывает, что для эффективной эксплуатации печей наиболее выгодны высокие скорости машин при небольшой площади печи на 1 м ширины ленты. Так, на заводах оконного стекла наиболее высокие съемы с 1 м² площади печи составляют 700...800 кг. Они достигнуты при больших скоростях (до 90...100 м/ч) и при площади печи 14...16 м² на 1 м² ленты. Наоборот, печи с самой низкой производительностью (Сылвенский завод — 377 кг) имеют непропорционально большие площади печи — 21...25 м² на 1 м² ленты.

Значительные резервы снижения себестоимости строительного и технического стекла заключены в упорядочении топливоиспользования, снижении затрат на тепловую обработку и комплексной механизации трудоемких процессов.

По данным института «Гипросталь», технико-экономические показатели стекольной промышленности формируются под влиянием следующих факторов: повышение технического уровня производства стекла на основе внедрения новой техники и совершенствования технологии производства; применение дорогих огнеупоров повышенного качества; усложнение конструкций ванн печей; увеличение высоты машин ВВС; строительство более совершенных конвейеров двусторонней шлифовки и полировки стекла; внедрение высокопроизводительных механизмов и оборудования, обеспечивающих ликвидацию ручного труда на операциях резки, сортировки, группировки и упаковки стекла; создание полностью механизированной линии по производству листового стекла от загрузки шихты в печь до упаковки стекла; создание механизированных и автоматизированных линий по производству сталинита и триплекса, алюминированных зеркал, стеклопакетов и т. д.; увеличение мощности предприятий за счет установки высокопроизводительного оборудования — увеличения мощности стекловаренных печей путем интенсификации процессов варки стекла за счет повышения температур до 1580...

1600°C; увеличение скорости вытягивания стекла и ширины ленты стекла; повышение скорости на конвейерах шлифовки и полировки стекла путем применения более эффективных шлифующих и полирующих материалов.

Блокировка цехов и совершенствование строительных решений (размещение резного и упаковочного цехов в первом этаже и др.) позволяет снизить сметную стоимость строительных работ на 8...10%. Основные цехи по варке, вытягиванию, обработке и складированию стекла размещаются в главном корпусе. Предусматривается применение эффективных строительных конструкций и материалов, обеспечивающих снижение капитальных затрат; рациональная компоновка генерального плана заводов, блокировка производственных зданий и т. д. позволяют значительно сократить протяженность внутризаводских коммуникаций и затраты на их сооружение. В результате влияния отмеченных факторов имеют место дальнейшее снижение себестоимости производства, рост производительности труда.

В СССР выработан и внедряется способ безлодочного вытягивания стекла, применение которого позволяет улучшить качество продукции и повысить производительность печей на 12...15%.

Выпуск армированного и узорчатого стекла, дающего мягкое рассеянное освещение, быстро возрастает. Однако его производство, в частности декоративного узорчатого стекла, покрытого аэрозольной пленкой, все еще является недостаточным.

Использование стеклопакетов для остекления оконных переплетов обеспечивает повышение уровня индустриальности остекления, снижение потерь тепла через оконный проем на 5...15%, значительное уменьшение трудовых затрат на строительной площадке, сокращение расхода древесины в 1,5...2 раза. В 1985 г. выпущено 0,94 млн. м² клееных и паяных стеклопакетов.

Использование стеклоблоков позволяет более чем в 2 раза снизить потери по сравнению с ординарным остеклением, улучшает звукоизоляцию. Приведенные затраты на 1 м² светопрозрачного ограждения из стеклянных блоков на 1...1,5 руб. меньше обычного двойного остекления.

Применение ковров из мозаичных плиток обеспечивает ускорение процесса отделки железобетонных панелей в заводских условиях.

● **Экономическая эффективность производства материалов из шлаковых расплавов.** Удельные капитальные вложения на 1 т гранулированного шлака, производимого гидроударным способом на отвалах без затрат на шлаковозный транспорт, составляют 1,7 руб., а с учетом затрат на перевозку огненно-жидкого шлака — 2,4 руб. Это на 15% больше, чем при производстве гранулированного шлака у домен с обезвоживанием на открытых складах.

Строительство установок по грануляции весьма рентабельно, поскольку эксплуатационные затраты по уборке шлака от домен-

ных печей и сливу его в отвал составляют в настоящее время в среднем 25...30 коп. на 1 т шлака, тогда как себестоимость 1 т гранулированного шлака — 50...60 коп.

Применение в строительстве шлаковой пемзы в качестве пористого заполнителя с малой плотностью, мелкопористой структурой и сравнительно высокой прочностью позволяет снизить стоимость наружных стеновых конструкций по сравнению с кирпичными на 20...25% и сократить в 2...3 раза удельные капитальные вложения на организацию производства искусственных легких заполнителей.

Производство минераловатных изделий из шлакового расплава намного выгоднее изготовления из карбонатного сырья. Удельные капитальные вложения на производство минераловатных теплоизоляционных материалов из металлургических шлаков составляют с привязкой 12...14 руб/м³ изделий, а из горных пород — на 15...20% больше (при равной мощности цеха).

Производство строительных материалов на основе шлаковых расплавов увеличивается значительными темпами. При выпуске минераловатных изделий намечено значительно повысить качество изделий и расширить их номенклатуру. Главное направление реконструкции предприятий минеральной ваты — переход на выпуск более качественных изделий на синтетической связке.

В целом эффективность материалов на основе шлаковых расплавов характеризуется перспективными данными НИИЭС Госстроя СССР (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Экономический эффект применения шлаковых материалов и изделий

Шлаковые материалы и изделия	Взаимозаменяемые материалы и изделия	Себестоимость, руб/м ³	Капитальные вложения, руб/м ²
Плиты для полов промышленных зданий, шлаковое литье	Чугунные плиты для полов промышленных зданий	27,1	5,5
Шлакосталлы в полах, в облицовке	Керамика, каменное литье, природные отделочные материалы	5,5	2,3
Однослойная шлакопемзовая панель толщиной 35 см	Однослойная керамзитобетонная панель толщиной 35 см	7,7	н. св.

Высокие эксплуатационные качества изделий из каменного литья обеспечивают им все более широкое применение в различных отраслях промышленности и строительства.

В стекольной промышленности СССР предусмотрено освоить производство новых высокоэффективных видов строительного

стекла, в частности намечено выпустить закаленное строительное стекло по непрерывной технологии. Возрастает производство высокоэффективного светотеплозащитного стекла самых различных цветовых оттенков, расширяется выпуск стеклокристаллических плиток и стекла «мороз» для отделки и др. Предусмотрено создание технологии по производству упрочненного листового стекла непосредственно при его формовании. Это исключает такие технологические операции, как резка стекла на заготовки и нагрев при закалке стекла. Начат выпуск герметичных стеклопакетов размером $2 \times 3,3$ м, в том числе стеклопакетов с солнцезащитными стеклами, защищающими помещение от шума, пыли и солнца.

ГЛАВА 5

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

● Минеральными вяжущими веществами называют тонкоизмельченные порошки, образующие при смешивании с водой пластичное тесто, под влиянием физико-химических процессов переходящее в камневидное состояние. Это свойство вяжущих веществ используют для приготовления на их основе растворов, бетонов, безобжиговых искусственных каменных материалов и изделий. Различают минеральные вяжущие вещества воздушные и гидравлические.

● Воздушные вяжущие вещества твердеют, долго сохраняют и повышают свою прочность только на воздухе. К воздушным вяжущим веществам относятся гипсовые и магнезиальные вяжущие, воздушная известь и кислотоупорный цемент.

● Гидравлические вяжущие вещества способны твердеть и длительно сохранять свою прочность не только на воздухе, но и в воде. В группу гидравлических вяжущих входят портландцемент и его разновидности, пуццолановые и шлаковые вяжущие, глиноземистый и расширяющиеся цементы, гидравлическая известь. Их используют как в надземных, так и в подземных и подводных конструкциях.

Наряду с этим различают вяжущие вещества, эффективно твердеющие только при автоклавной обработке — давлении насыщенного пара $0,8 \dots 1,2$ МПа и температуре $170 \dots 200^\circ\text{C}$. В группу вяжущих веществ автоклавного твердения входят известково-кремнеземистые и известково-нефелиновые вяжущие.

5. А. ВОЗДУШНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

§ 5.1. Гипсовые вяжущие вещества

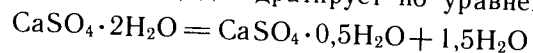
Гипсовые вяжущие вещества делят на две группы: низкообжиговые и высокообжиговые.

● Низкообжиговые гипсовые вяжущие вещества получают при нагревании двухводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ до температуры $150 \dots 160^\circ\text{C}$ с частичной дегидратацией двухводного гипса и переводом его в полуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$.

● Высокообжиговые (ангидритовые) вяжущие получают обжигом двухводного гипса при более высокой температуре до $700 \dots 1000^\circ\text{C}$ с полной потерей химически связанной воды и образованием безводного сульфата кальция — ангидрита CaSO_4 . К низкообжиговым относится строительный, формовочный и высокопрочный гипс, а к высокообжиговым — ангидритовый цемент и эстрих-гипс.

Сырьем для производства гипсовых вяжущих служат природный гипсовый камень и природный ангидрид CaSO_4 , а также отходы химической промышленности, содержащие двухводный или безводный сернокислый кальций, например фосфогипс. Возможно применение гипсосодержащего природного сырья в виде саж и глиногипса.

● Гипсовым вяжущим называют воздушное вяжущее вещество, состоящее преимущественно из полуводного гипса и получаемое путем тепловой обработки гипсового камня при температуре $150...160^\circ\text{C}$. При этом двухводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, содержащийся в гипсовом камне, дегидратируется по уравнению



В этих условиях образуются мелкие кристаллы полуводного сернокислого кальция β -модификации; такой гипс обладает повышенной водопотребностью ($60...65\%$ воды). Избыточная вода, т. е. сверхпотребная на гидратацию гипса (15%), испаряется, образуя поры, вследствие чего затвердевший гипс имеет высокую пористость (до 40%) и соответственно небольшую прочность.

Производство гипса складывается из дробления, помола и тепловой обработки (дегидратации) гипсового камня. Имеется несколько технологических схем производства гипсового вяжущего: в одних помол предшествует обжигу, в других помол производится после обжига, а в третьих помол и обжиг совмещаются в одном аппарате. Последний способ получил название обжига гипса во взвешенном состоянии. Тепловую обработку гипсового камня производят в варочных котлах, сушильных барабанах, шахтных или других мельницах.

Наиболее распространена схема производства гипсового вяжущего с применением варочных котлов (рис. 5.1). Гипсовый камень, поступающий на завод в крупных кусках, сначала дробят, затем измельчают в мельнице, одновременно подсушивая его. В порошкообразном виде камень направляют в варочный котел периодического или в установку непрерывного действия. Последняя имеет в 2...3 раза выше производительность, но еще находится в стадии практического освоения.

Варочный котел периодического действия (рис. 5.2) представляет собой обмурованный кирпичом стальной котел 4 со сферическим днищем 1, обращенным выпуклой стороной внутрь цилиндра. Для перемешивания гипса в котле имеется мешалка 2, приводимая в движение электродвигателем 3. Раскаленные топочные газы обогревают днище и стенки котла, а также проходят через жаровые трубы 5 внутри котла и в охлажденном состоянии удаляются по дымовой трубе. Продолжительность варки $90...180$ мин. При варке в котле гипс не соприкасается с топочными газами, что позволяет получать чистую продукцию, не загрязненную золой топлива.

Гипсовое вяжущее в сушильных барабанах получают путем обжига гипсового камня в виде щебня размером до 20 мм.

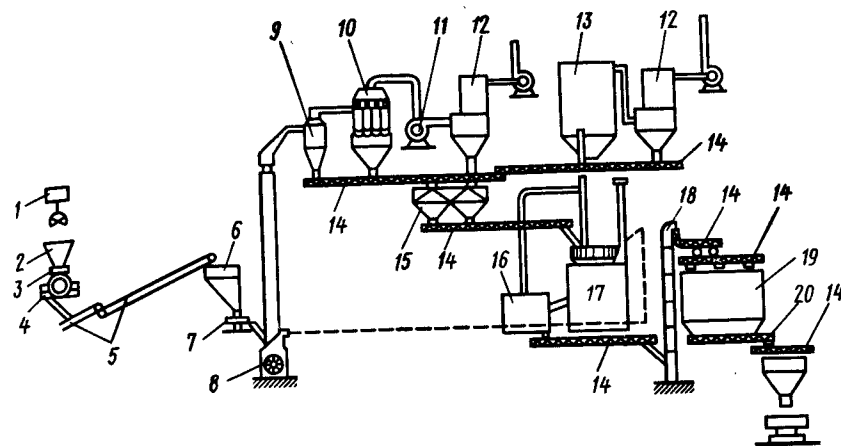


Рис. 5.1. Технологическая схема производства строительного гипса с применением варочных котлов:

1 — мостовой грейферный кран; 2 — бункер гипсового камня; 3 — лотковый питатель; 4 — щековая дробилка; 5 — ленточные транспортеры; 6 — бункер гипсового щебня; 7 — тарельчатый питатель; 8 — шахтная мельница; 9 — двоянный циклон; 10 — батарея циклонов; 11 — вентилятор; 12 — рукавные фильтры; 13 — пылесадительная камера; 14 — шнеки; 15 — бункер сырого молотого гипса; 16 — камера томления; 17 — гипсоварочный котел; 18 — элеватор; 19 — бункер готового гипса; 20 — скребковый транспортер

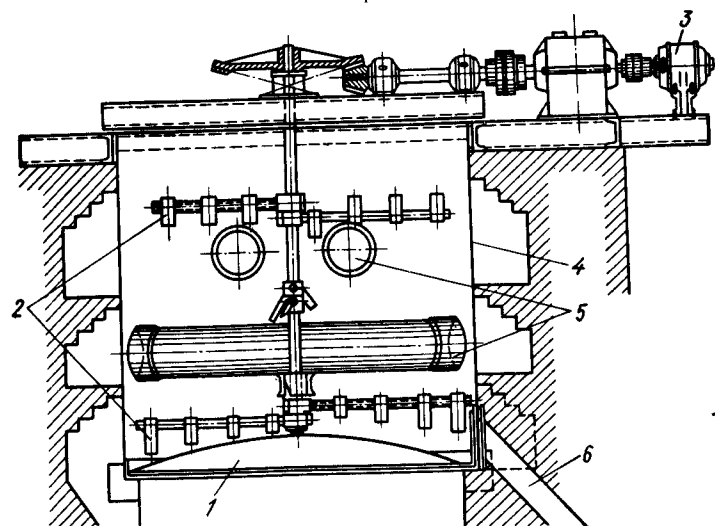


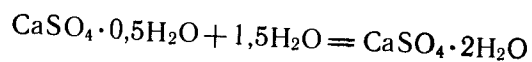
Рис. 5.2. Варочный котел для изготовления строительного гипса: 1 — днище; 2 — смеситель; 3 — электродвигатель; 4 — котел; 5 — жаровые трубы; 6 — выгрузочный желоб

Обжиговой частью сушильного барабана служит наклонный стальной цилиндр диаметром до $2,5$ м и длиной до 20 м, установленный на роликовых опорах и непрерывно вращающийся. Гипсовый щебень подается в барабан с приподнятой стороны и в

результате вращения наклонного барабана перемещается в сторону наклона. Из топки в барабан поступают раскаленные дымовые газы, которые при движении вдоль барабана обжигают гипсовый камень, а с противоположной стороны удаляются вентилятором. Далее гипсовый камень измельчают в мельницах.

При обжиге гипса во взвешенном состоянии совмещают две операции: измельчение и обжиг. В мельницу (шахтную, шаровую или роликовую) подают гипсовый щебень и одновременно мельчайшие зерна гипса товарной фракции увлекаются из мельницы потоком дымовых газов и в процессе транспортирования в раскаленном газовом потоке обжигаются. Пылевоздушная смесь поступает в циклоны и фильтры для осаждения гипса. Наибольшую производительность из рассмотренных схем имеет последняя, затем схема обжига в сушильных барабанах и, наконец, в варочных котлах. Однако первые две схемы существенно уступают по качеству продукции схеме с варкой гипса.

При затворении порошка гипса водой полуводный сернокислый кальций $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, содержащийся в нем, начинает растворяться до образования насыщенного раствора и одновременно гидратироваться, присоединяя 1,5 молекулы воды и переходя в двугидрат $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ по уравнению



Растворимость двугидрата примерно в 5 раз меньше растворимости исходного порошка — полугидрата $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. В результате образовавшийся насыщенный раствор полугидрата оказывается пересыщенным по отношению к двугидрату. Пересыщенный раствор в обычных условиях не может существовать — из него выделяются мельчайшие частицы твердого вещества — двуводного сернокислого кальция. По мере накопления этих частиц они склеиваются между собой, вызывая загустевание (схватывание) теста. Затем мельчайшие частицы гидрата начинают кристаллизоваться, определяя этим образование прочного гипсового камня. Дальнейшее увеличение прочности гипса происходит вследствие высыхания твердеющей массы и более полной кристаллизации при этом. Твердение гипса можно ускорить сушкой, но при температуре не выше 65°C во избежание обратной дегидратации двуводного гипса.

Быстрое схватывание гипса затрудняет в ряде случаев его использование и вызывает необходимость применения замедлителей схватывания (кератинового, известково-кератинового клея, сульфитно-дрожжевой бражки в количестве 0,1...0,3% от массы гипса). Замедлители схватывания уменьшают скорость растворения полуводного гипса и замедляют диффузионные процессы. При необходимости ускорить схватывание гипса к нему добавляют двуводный гипс, поваренную соль, серную кислоту. Одни из них повышают растворимость полуводного гипса, другие (дву-

водный гипс) образуют центры кристаллизации, вокруг которых быстро закристаллизовывается вся масса.

Применяется гипсовое вяжущее для производства гипсовых и гипсобетонных строительных изделий для внутренних частей зданий (перегородочных плит, панелей, сухой штукатурки, приготовления гипсовых и смешанных растворов, производства декоративных и отделочных материалов, например искусственного мрамора), а также для производства гипсоцементно-пуццолановых вяжущих.

● **Высокопрочный гипс** является разновидностью полуводного гипса. Этот полуводный гипс α -модификации, который имеет более крупные кристаллы, обуславливающие меньшую водопотребность гипса (40...45% воды), позволяет получать гипсовый камень с большей плотностью и прочностью. Получают его путем нагревания природного гипса паром под давлением 0,2...0,3 МПа с последующей сушкой при температуре $160...180^\circ\text{C}$. Прочность его за 7 сут достигает 15...40 МПа. Высокопрочный гипс выпускают пока в небольшом количестве и применяют в основном в металлургической промышленности для изготовления форм. Однако он успешно может заменить обыкновенное гипсовое вяжущее, обеспечив изделиям высокую прочность.

● **Формовочный гипс** состоит в основном из кристаллов β -модификации и незначительного количества примесей. Он обладает повышенной водопотребностью, а будучи затвердевшим, имеет высокую пористость. Это свойство формовочного гипса успешно используется в керамической и фарфорофаянсовой промышленности для изготовления форм.

§ 5.2. Свойства и применение низкообжиговых гипсовых вяжущих веществ

● Основными характеристиками гипсовых вяжущих являются сроки схватывания, тонкость помола, прочность при сжатии и растяжении, водопотребность и др.

Гипсовое вяжущее является быстросхватывающим и быстро твердеющим вяжущим веществом. По срокам схватывания ГОСТ 125—79 предусматривает выпуск вяжущих: быстротвердеющего (индекс А) с началом схватывания не ранее 2 мин, концом — не позднее 15 мин; нормальнотвердеющего (индекс Б) с началом схватывания не ранее 6 мин, концом — не позднее 30 мин; медленнотвердеющего (индекс В) с началом схватывания не ранее 20 мин, концом схватывания не нормируется.

В зависимости от степени помола различают вяжущие грубого, среднего и тонкого помола с максимальным остатком на сите с размером ячеек в свету 0,2 мм не более 23, 14 и 2% (обозначаемые соответственно индексами I, II и III).

Марку гипсовых вяжущих характеризуют по прочности при сжатии образцов-балочек $40 \times 40 \times 160$ мм в возрасте 2 ч после затворения водой. Минимальный предел прочности каждой марки

должен соответствовать значениям, приведенным в табл. 5.1. Четкое индексирование различных сортов гипсовых вяжущих позволяет давать большой объем информации в сокращенной форме. Например, гипсовое вяжущее с прочностью при сжатии 5,2 МПа, началом схватывания 5 мин, концом схватывания 9 мин и остатком на сите 0,2 мм 9%, т. е. вяжущее марки Г-5, быстротвердеющее, среднего помола, может быть записано в виде сокращенного обозначения Г-5АП.

Таблица 5.1. Применяемые значения предела прочности каждой марки гипсового вяжущего

Предел прочности в возрасте 2 ч, МПа	Марка вяжущего											
	Г-2	Г-3	Г-4	Г-5	Г-6	Г-7	Г-10	Г-13	Г-16	Г-19	Г-22	Г-25
При сжатии	2	3	4	5	6	7	10	13	16	19	22	25
При изгибе	1,2	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,5	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0

Чтобы получить гипсовое удобоукладываемое тесто, необходимо взять 60...80% воды от массы вяжущего, а на химическую реакцию гидратации требуется лишь 18,6% воды. Избыток ее остается в порах, затем испаряется, поэтому получившийся в результате твердения полуводного гипса гипсовый камень обладает высокой пористостью, достигающей 40...60% и более. Чем больше воды затворения, тем выше пористость камня, а прочность его соответственно меньше. Прочность гипсовых образцов, высушенных при температуре до 60°C, в 2...2,5 раза выше прочности влажных образцов после 1,5 ч твердения. Лучшие сорта гипса после сушки имеют прочность при сжатии 18...20 МПа, а прочность при растяжении в 6...8 раз меньше.

При твердении гипс расширяется в объеме до 1%, благодаря чему гипсовые отливки хорошо заполняют форму и передают ее очертания. При его высыхании трещин не образуется, что позволяет применять гипсовое вяжущее без заполнителей.

Гипсовое вяжущее в воде снижает свою прочность вследствие растворения двугидрата и разрушения кристаллического сростка. Водостойкость его может быть повышена введением небольших количеств гидрофобных веществ (олеиновой кислоты и др.), добавкой молотого гранулированного шлака, извести, портландцемента.

Наряду с гипсовыми вяжущими общестроительного назначения выпускаются вяжущие для фарфорофаянсовой и керамической промышленности, к которым предъявляется ряд дополнительных требований: объемное расширение — не более 0,15%, примесей, нерастворимых в HCl, — не более 1%, водопоглощение — не менее 30%.

Гипсовые вяжущие применяют при производстве гипсовой штукатурки, перегородочных стеновых плит и панелей, вентиля-

ционных коробов и других деталей в зданиях и сооружениях, работающих при относительной влажности воздуха не выше 65%. Изделия из них обладают небольшой плотностью, негорюаемостью и рядом других ценных свойств, но при увлажнении прочность их снижается.

Для гипсовых строительных изделий всех видов рекомендуются марки Г-2...Г-7 всех сроков твердения и степеней помола; для тонкостенных строительных изделий и декоративных деталей может использоваться гипс тех же марок, но только тонкого и среднего помола, быстрого и нормального твердения. При штукатурных работах и заделке швов применяют марки Г-2...Г-25 нормального и медленного твердения. Гипс марок Г-5...Г-25 нормального и медленного твердения. Гипс марок Г-5...Г-25 тонкого помола с нормальными сроками твердения служит для изготовления форм и моделей в керамической, машиностроительной промышленности, а также в медицине.

§ 5.3. Ангидритовые вяжущие вещества

● Ангидритовое вяжущее получают обжигом природного двуводного гипса при температуре 600...700°C с последующим его измельчением с добавками — катализаторами твердения (известью, смесью сульфата натрия с медным или железным купоросом, обожженным доломитом, основным доменным гранулированным шлаком и др.). Ангидритовое вяжущее можно получить также путем помола природного ангидрита с указанными выше добавками.

Ангидритовое вяжущее было предложено П. П. Будниковым следующего состава: известь — 2...5%; смесь бисульфата или сульфата натрия с железным или медным купоросом — по 0,5...1% каждого; доломит, обожженный при 800...900°C, — 3...8%, основной гранулированный доменный шлак — 10...15%. Железный и медный купоросы уплотняют поверхность затвердевшего ангидритового цемента, вследствие чего катализаторы не выделяются и не образуют выцветы на поверхности изделия. Действие катализаторов объясняется тем, что ангидрит обладает способностью образовывать комплексные соединения с различными солями в воде неустойчивого сложного гидрата, который затем распадается, образуя $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Ангидритовый цемент — это медленно схватывающееся вяжущее вещество с началом схватывания не ранее 30 мин, концом — не позднее 24 ч. Марки ангидритового цемента по прочности при сжатии М50, 100, 150 и 200. Применяют ангидритовые цементы для приготовления кладочных и отделочных растворов, бетонов, производства теплоизоляционных материалов, искусственного мрамора и других декоративных изделий.

● Высокообжиговый гипс (эстрих-гипс) является разновидностью ангидритовых цементов. Его получают обжигом природного гипса или ангидрита при температуре 800...1000°C с последую-

щим тонким измельчением. При этом происходит не только полное обезвоживание, но и частичная диссоциация (разложение) ангидрита с образованием CaO (в количестве 3...5%) по реакции $\text{CaSO}_4 = \text{CaO} + \text{SO}_3$. При затворении водой CaO действует как катализатор по схеме твердения ангидритового цемента, рассмотренной выше. Высокообжиговый гипс медленно схватывается и твердеет, но водостойкость и прочность при сжатии (10...20 МПа) позволяют успешно использовать его при устройстве мозаичных полов, изготовлении искусственного мрамора и др. Изделия из высокообжигового гипса мало-, тепло- и звукопроводны, они обладают по сравнению с изделиями из гипсового вяжущего более высокой морозостойкостью, повышенной водостойкостью и меньшей склонностью к пластическим деформациям.

§ 5.4. Экономика производства гипсовых вяжущих веществ

Производство гипсовых вяжущих веществ с каждым годом увеличивается.

Себестоимость товарного гипса составляет в среднем около 12 руб. за 1 т и существенно колеблется на различных заводах. При этом решающим фактором является степень концентрации производства: на более крупных и технически оснащенных предприятиях со среднегодовой мощностью более 100 тыс. т себестоимость гипса почти в 2 раза ниже, чем на мелких (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Группировка гипсовых предприятий по себестоимости

Мощность среднегодовая, тыс. т.	Количество заводов, %	Выпуск продукции, %	Себестоимость, %
До 50	40	12,8	100
50...100	31,1	26,6	64
Более 100	28,9	60,6	56

Как видно из табл. 5.2, около 40% гипса выпускают предприятия среднегодовой мощности до 100 тыс. т. Большие колебания себестоимости (в 2...4 раза) свидетельствуют о значительных резервах ее снижения.

В табл. 5.3 приведена структура себестоимости гипса по отдельным заводам.

Обращает на себя внимание высокий удельный вес затрат на сырье и вспомогательные материалы (33,0...53,9%) и на заработную плату с начислениями (23,6...36,8%).

Себестоимость гипса заводов, работающих на привозном сырье, по данным ВНИИСтрома, примерно в 1,5 раза превышает уровень себестоимости гипса заводов, работающих на собствен-

Таблица 5.3. Себестоимость, %, гипса по отдельным заводам

Статьи затрат	Заводы		
	Орловский	Московский	Курский
Сырье и основные материалы	50,0	53,9	33,0
Вспомогательные материалы	3,6	1,2	2,8
Топливо	4,5	6,9	12,2
Электроэнергия	4,1	3,1	4,3
Амортизация	7,4	7,4	9,6
Зарплата с начислениями	27,0	23,6	36,8
Прочие расходы	3,4	3,9	1,3
Итого	100,0	100,0	100,0

ном сырье; при этом затраты на сырье и материалы различаются в 3...3,5 раза.

Большие резервы заключены в снижении трудоемкости производства путем механизации и автоматизации производственных процессов.

Перспективы массового применения гипсовых изделий определяются в значительной степени наличием основного сырья — гипсовым камнем, а также пригодностью месторождений к промышленной эксплуатации.

Имеющиеся промышленные запасы сырья (около 6 млрд. т) достаточны как для обеспечения действующего производства гипсовых вяжущих и изделий, так и для его дальнейшего развития в целях полного удовлетворения потребностей строительства в этих эффективных видах продукции.

§ 5.5. Магнезиальные вяжущие вещества

Разновидностями магнезиальных вяжущих веществ являются каустический магнезит и каустический доломит.

● Каустический магнезит получают при обжиге горной породы магнезита MgCO_3 в шахтных или вращающихся печах при 650...850°C. В результате MgCO_3 разлагается по схеме $\text{MgCO}_3 = \text{MgO} + \text{CO}_2$. Оставшееся твердое вещество (окись магния) измельчают в тонкий порошок.

● Каустический доломит MgO и CaCO_3 получают путем обжига природного доломита $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ с последующим измельчением его в тонкий порошок. При обжиге доломита CaCO_3 не разлагается и остается инертным как балласт, что снижает вяжущую активность каустического доломита по сравнению с каустическим магнезитом.

Магнезиальные вяжущие затворяют не водой, а водными рас-

творами солей сернокислого или хлористого магния. Магнезиальные вяжущие, затворенные на растворе хлористого магния, дают большую прочность, чем на растворе сернокислого магния. Магнезиальные вяжущие, являясь воздушными, слабо сопротивляются действию воды. Их можно использовать только при затвердении на воздухе с относительной влажностью не более 60%. Каустический магнезит легко поглощает влагу и углекислоту из воздуха, в результате чего образуются гидрат оксида магния и углекислый магний. В связи с этим каустический магнезит хранят в плотной герметической таре. На основе магнезиальных вяжущих в прошлом времени изготовляли ксилолит (смесь вяжущего с опилками), используемый для устройства полов, а также фибролит и другие теплоизоляционные материалы. В настоящее время применение магнезиальных вяжущих резко сократилось.

§ 5.6. Кислотоупорные цементы

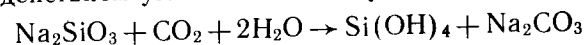
● Кислотоупорные цементы состоят из смеси водного раствора силиката натрия (растворимого стекла), кислотоупорного наполнителя и добавки — ускорителя твердения. В качестве микронаполнителя используют кварц, кварциты, андезит, диабаз и другие кислотоупорные материалы; ускорителем твердения служит кремнефтористый натрий. Вяжущим материалом в кислотоупорном цементе является растворимое стекло — водный раствор силиката натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ или силиката калия $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$. Величина n указывает на отношение числа молекул кремнезема к числу молекул щелочного оксида и называется модулем стекла, он колеблется от 2,5 до 3,5.

Добавка кремнефтористого натрия также повышает водостойкость и кислотоупорность цемента. Отечественная промышленность выпускает кислотоупорный кварцевый кремнефтористый цемент, состоящий из смеси тонкомолотого чистого кварцевого песка 15...30% и кремнефтористого натрия Na_2SiF_6 — 4...6% от массы наполнителя.

Кислотоупорные цементы применяют для футеровки химической аппаратуры, возведения башен, резервуаров и других сооружений химической промышленности, а также для приготовления кислотоупорных замазок, растворов и бетонов.

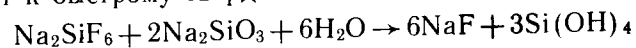
Как указывалось ранее, для приготовления кислотоупорного цемента применяют растворимое стекло. Растворимое стекло получают при сплавлении в течение 7...10 ч в стекловарочных печах при 1300...1400°C кварцевого песка, измельченного и тщательно смешанного с кальцинированной содой, сульфатом натрия или с поташом K_2CO_3 . Полученная стекломасса поступает из печи в вагонетки, где быстро охлаждается и распадается на куски. Застывшие куски называют «силикат-глыба». Это стекло растворимо в воде при обычных условиях, но при действии пара высокого давления 0,5...0,6 МПа и температуре около 150°C сравнительно быстро переходит в жидкое состояние.

Твердеет растворимое стекло (довольно медленно) только на воздухе вследствие выделения и высыхания аморфного кремнезема под действием углекислоты воздуха по реакции



Однако глубина проникания углекислоты воздуха сравнительно невелика и положительное ее действие наблюдается только на поверхности.

Ускоряет твердение растворимого стекла добавка катализатора — кремнефтористого натрия Na_2SiF_6 . Последний вступает во взаимодействие с растворимым стеклом, в результате чего быстро образует гель кремнекислоты — клеящее вещество, что приводит к быстрому твердению системы:



Силикат-глыбу можно транспортировать в таре или навалом. Растворимое стекло, имеющее сиропообразную консистенцию, транспортируют в бочках, стеклянных баллонах. Растворимое стекло применяют для приготовления кислотостойких и жароупорных обмазок. Нельзя применять растворимое стекло для конструкций, подверженных длительному воздействию воды, щелочей и фосфорной, фтористо-водородной или кремнефтористоводородной кислоты.

Кислотоупорный цемент не водостоек; разрушается от воздействия воды и слабых кислот. Для повышения водостойкости в состав цемента вводят 0,5% льняного масла или 2% гидрофобизирующей добавки. Полученный таким образом гидрофобизованный цемент называют кислотоупорным водостойким цементом (КВЦ).

Для повышения кислотостойкости кислотоупорных бетонов рекомендуется обрабатывать их поверхность разбавленной соляной или серной кислотой, раствором хлористого кальция или хлористого магния.

§ 5.7. Строительная известь

● Строительную известь получают путем обжига (до удаления углекислоты) из кальциево-магневых горных пород — мела, известняка, доломитизированных и мергелистых известняков, доломитов.

Для производства тонкодисперсной строительной извести гасят водой или размалывают негашеную известь, вводя при этом минеральные добавки в виде гранулированных доменных шлаков, активные минеральные добавки или кварцевые пески. Строительную известь применяют для приготовления строительных растворов и бетонов, вяжущих материалов и в производстве искусственных камней, блоков и строительных деталей.

В зависимости от условий твердения различают строительную известь воздушную, обеспечивающую твердение строительных

растворов и бетонов и сохранение ими прочности в воздушно-сухих условиях, и гидравлическую, обеспечивающую твердение растворов и бетонов и сохранение ими прочности как на воздухе, так и в воде. Воздушная известь по виду содержащегося в ней основного оксида бывает кальцевая, магнезиальная и доломитовая. Воздушную известь подразделяют на негашеную и гидратную (гашеную), получаемую гашением кальцевой, магнезиальной и доломитовой извести. Гидравлическую известь делят на слабогидравлическую и сильногидравлическую. Различают гидравлическую известь комовую и порошкообразную. Порошкообразная известь бывает двух видов: молотая и гидратная (гашеная вода). Комовую известь выпускают без добавок и с добавками.

Строительную негашеную известь по времени гашения делят на быстрогасящуюся — не более 8 мин, среднегасящуюся — не более 25 мин, медленногасящуюся — более 25 мин.

● **Строительную воздушную известь** получают из кальцево-магневых карбонатных пород. Технологический процесс получения извести состоит из добычи известняка в карьерах, его подготовки (дробления и сортировки) и обжига. После обжига производят помол комовой извести, получая молотую негашеную известь, или гашение комовой извести водой, получая гашеную известь.

Основным процессом при производстве извести является обжиг, при котором известняк декарбонизируется и превращается в известь по реакции $\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{CO}_2$. Диссоциация карбонатных пород сопровождается поглощением теплоты (1 г-моль CaCO_3 требует для разложения примерно 190 кДж). Реакция разложения углекислого кальция обратима и зависит от температуры и парциального давления углекислого газа. Диссоциация углекислого кальция достигает заметной величины при температуре свыше 600°C . Теоретически нормальной температурой диссоциации считают 900°C . В заводских условиях температура обжига известняка зависит от плотности известняка, наличия примесей, типа печи и ряда других факторов и составляет обычно $1100\ldots 1200^\circ\text{C}$.

При обжиге из известняка удаляется углекислый газ, составляющий до 44% его массы, объем же продукта уменьшается примерно на 10%, поэтому куски комовой извести имеют пористую структуру. Обжиг известняка производят в различных печах: шахтных, вращающихся, в «кипящем слое», во взвешенном состоянии и т. д. Наибольшее распространение получили экономичные по расходу топлива шахтные пересыпные известеобжигательные печи, однако известь в них оказывается загрязненной золой топлива.

Шахтная печь (рис. 5.3) состоит из шахты, загрузочного и выгрузочного устройства, воздухоподводящей и газоотводящей аппаратуры. Известняк в шахтную печь загружают периодически или непрерывно сверху. Материал по мере выгрузки извести

опускается вниз, и навстречу обжигаемому материалу просачиваются горячие дымовые газы. По характеру процессов, протекающих в шахтной печи, различают зоны подогрева, обжига и охлаждения. В зоне подогрева в верхней части печи с температурой печного пространства не выше 900°C известняк подсушивается, подогревается и в нем выгорают органические примеси. В средней части печи — в зоне обжига, где температура достигает $900\ldots 1200^\circ\text{C}$, — происходит разложение CaCO_3 и выделение углекислого газа. В нижней части печи — зоне охлаждения — известь охлаждается поступающим снизу воздухом с 900 до $50\ldots 100^\circ\text{C}$.

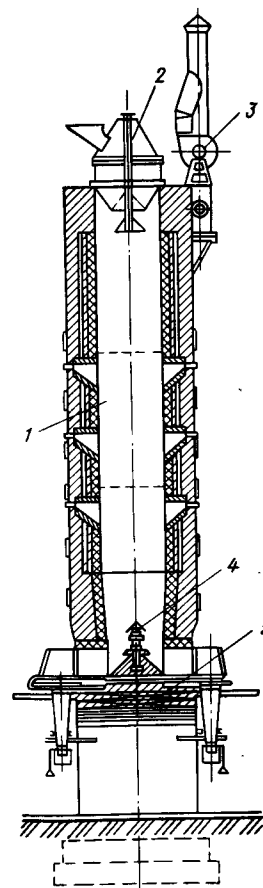


Рис. 5.3. Шахтная печь для обжига извести:

1 — шахта; 2 — загрузочный механизм; 3 — дымосос; 4 — гребень для подачи воздуха; 5 — разгрузочный механизм

Газовые печи позволяют получить «чистую» известь, они проще в эксплуатации, процесс обжига в них можно механизировать и автоматизировать.

Во вращающихся печах получают известь высокого качества, но при этом расходуется много топлива.

Имеют применение высокопроизводительные агрегаты с обжигом в «кипящем слое». Обжиг в «кипящем

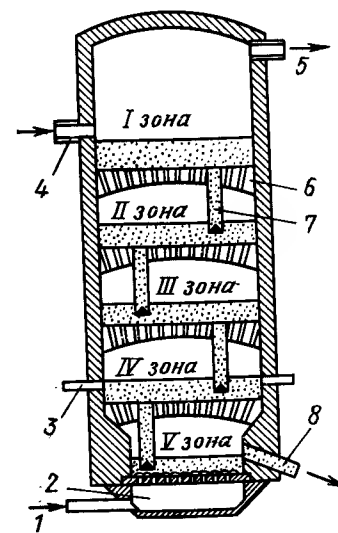


Рис. 5.4. Схема установки для обжига извести в «кипящем слое»:

1 — подача сжатого воздуха; 2 — воздушная коробка с неперальной решеткой; 3 — горелки; 4 — загрузка известняка; 5 — отвод отходящих газов на очистку; 6 — решетчатый свод; 7 — переливная труба; 8 — выгрузка обожженной извести

слое» (рис. 5.4) производят в реакторе, представляющем собой металлическую шахту, футерованную внутри и разделенную по высоте решетчатыми сводами на 3...5 зон. Передача материала из зоны в зону производится через трубки, имеющие ограничитель. Высота «кипящего слоя» определяется от обреза переливной трубки до решетки. По периферии реактора имеются горелки для газа или мазута. Многозонность реактора позволяет получать известь высокого качества при небольшом расходе топлива. Полученный при обжиге карбонатных пород полупродукт носит название комовой извести-кипелки. В дальнейшем она поступает на помол или гашение.

● **Молотая негашеная известь** с добавками производится 1-го и 2-го сортов и гидратная (гашеная) без добавок и с добавками двух сортов: 1-го и 2-го. Воздушная известь должна удовлетворять требованиям табл. 5.4.

В соответствии с требованиями ГОСТ 9179—77 негашеную известь следует измельчать до тонкости, при которой остаток при просеивании пробы через сита № 02 и № 008 должен быть соответственно не более 1,5 и 15%. Обычно заводы выпускают известь, характеризующуюся остатками на сите № 008 до 2...7%, что примерно соответствует удельной поверхности 3500...5000 см²/г.

Таблица 5.4. Технические требования к воздушной извести

Наименование показателей	Нормы для извести, % по массе							
	кальцевой извести сортов			магнезиальной и доломитовой извести сортов			гидратной извести сортов	
	1	2	3	1	2	3	1	2
Активные CaO + MgO, не менее:								
без добавок	90	80	70	85	75	65	67	60
в негашеной извести с добавками	65	55	—	60	50	—	50	40
Активная MgO, не более	5	5	5	20(40)*	20(40)*	20(40)*	—	—
CO ₂ , не более:								
без добавок	3	5	7	5	8	11	3	5
с добавками	4	6	—	6	9	—	2	4
Непогасившиеся зерна, не более	7	11	14	10	15	20	—	—

* В скобках указано содержание MgO для доломитовой извести.

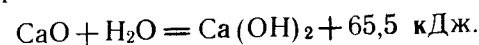
Молотую негашеную известь транспортируют в герметически закрытых металлических контейнерах или в бумажных битуминизированных мешках. Хранить молотую известь до употребления можно не более 10...15 сут в сухих складах.

При работах с известью необходимо соблюдать требования по охране труда. Попадание частиц молотой извести в легкие, а также на слизистые оболочки, особенно глаз, опасно.

Молотую негашеную известь применяют без ее предварительного гашения, что имеет ряд преимуществ: исключаются отходы в виде непогасившихся зерен, используется тепло, которое выделяется при гидратации извести, что ускоряет процессы твердения извести. Изделия из этой извести имеют и большую плотность, прочность и водостойкость.

Для ускорения твердения растворных и бетонных смесей на молотой негашеной извести в их состав вводят хлористый кальций, а для замедления твердения в начальный период (схватывания) добавляют гипс, серную кислоту и сульфитно-спиртовую барду. Добавка гипса и хлористого кальция, кроме того, повышает прочность растворов и бетонов, а добавки замедлителей твердения предупреждают образование трещин, что возможно при отсутствии определенных условий твердения.

● **Гидратная известь.** Известь воздушная отличается от других вяжущих веществ тем, что может превращаться в порошок не только при помолу, но и путем гашения — действие воды на куски комовой извести с выделением значительного количества тепла по реакции



1 г-моль CaO выделяет 65,5 кДж тепла, 1 кг извести-кипелки — 1160 кДж.

Стехиометрически для гашения извести в пушонку необходимо 32% воды от массы CaO. Практически в зависимости от состава извести, степени ее обжига и способа гашения количество воды берут в 2, а иногда и в 3 раза больше, так как в результате выделения тепла при гашении происходит парообразование и часть воды удаляется с паром. На скорость гашения извести оказывают влияние температура и размеры кусков комовой извести. С повышением температуры ускоряется процесс гашения. Особенно быстро процесс гашения протекает при гашении паром при повышенном давлении в закрытых барабанах.

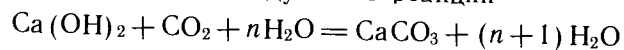
В зависимости от скорости гашения различают строительную негашеную известь: быстрогасящуюся со скоростью гашения не более 8 мин; среднегасящуюся со скоростью гашения до 25 мин и медленногасящуюся со скоростью гашения не менее 25 мин.

Содержание активных CaO + MgO для гидратной извести должно быть не менее 70%, а влажность — не более 4%.

Гашение извести в пушонку производят в специальных машинах — гидрататорах. Для гашения извести-кипелки в известковое тесто применяют известегаситель ЮЗ, в котором комовая известь одновременно размалывается, перемешивается с водой до образования известкового молока и сливается в сепаратор-отстойник. После отстаивания известкового молока образуется известковое тесто. Нельзя применять известковое тесто с боль-

шим содержанием непогасившихся зерен извести, так как гашение этих зерен может произойти в кладке, что приведет к растрескиванию затвердевшего известкового раствора. Измельчение извести в гасителе ЮЗ способствует практически полному гашению извести, тогда как в других машинах количество непогасившихся зерен (отходов) может достигать 30%.

Твердение извести может происходить только в воздушно-сухих условиях. Испарение воды (что имеет место при этом) вызывает слипание мельчайших частиц $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в более крупные и их кристаллизацию. Кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ сростаются друг с другом, образуя каркас, окружающий частицы песка. Наряду с этим происходит карбонизация гидрата оксида кальция за счет поглощения углекислоты воздуха по реакции



Таким образом, твердение известковых растворов есть следствие их высыхания и образования кристаллического сростка $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а также процесса образования углекислого кальция на поверхности изделия. Твердеет гашеная известь медленно, и прочность известковых растворов невысокая. Это объясняется тем, что кристаллизация гидрата оксида кальция происходит не интенсивно и кристаллы слабо связаны друг с другом. Кроме того, образовавшаяся на поверхности корка CaCO_3 препятствует прониканию воздуха внутрь известкового раствора и тормозит дальнейшее развитие процесса карбонизации. Гидрат оксида кальция кристаллизуется тем быстрее, чем интенсивнее испаряется вода, поэтому для твердения извести необходима положительная температура.

Воздушную известь широко применяют для приготовления строительных растворов в производстве известково-пуццолановых вяжущих, для изготовления искусственных каменных материалов — силикатного кирпича, силикатных и пеносиликатных изделий, шлакобетонных блоков, а также в качестве красочных составов.

Транспортируют комовую известь навалом, защищая от увлажнения и загрязнения, а молотую — в специальных бумажных мешках или металлических закрытых контейнерах. Известковое тесто перевозят в специально для этого приспособленных кузовах самосвалов. Известь негашеная должна храниться в закрытых складах, защищенных от попадания влаги. Гидратную известь можно хранить непродолжительное время в мешках и сухих складах. Молотую известь не следует хранить более 30 сут, так как она постепенно гасится влагой воздуха и теряет активность.

§ 5.8. Экономика производства извести

Себестоимость 1 т строительной комовой извести около 18,5 руб/т, т. е. существенно выше среднеотраслевых издержек производства цемента. Причиной такого положения являются не-

достаточно высокий технический уровень производства извести, слабая концентрация производства, повышенные издержки на сырье и топливо (табл. 5.5).

Таблица 5.5. Структура цеховой себестоимости комовой извести

Статьи калькуляции	Затраты, % к итогу	Статьи калькуляции	Затраты, % к итогу
Сырье	28	Заработная плата с начислениями	11
Топливо	32	Цеховые расходы и расход по содержанию оборудования	26
Электроэнергия	3		
		Итого	100

Колебания в уровне себестоимости извести велики. Так, по Белгородскому заводу себестоимость извести в 2...2,5 раза ниже, чем по другим заводам.

Решающим образом на себестоимость извести влияет средняя мощность предприятия. На мелких, технически слабо оснащенных предприятиях выпускается более половины всей продукции. При этом себестоимость на мелких заводах со среднегодовой мощностью до 10 тыс. т почти в 2 раза выше, чем на крупных предприятиях. Следовательно, экономически целесообразно строительство цехов извести большей мощности по новым типовым проектам с применением более совершенных конструкций известково-обжигательных печей.

Производство извести на предприятиях по изготовлению силикатных изделий осуществляется в основном в шахтных и вращающихся печах. Среднегодовое время работы шахтных печей в целом по СССР колеблется в очень широких пределах — от 187 до 346 сут.

Характеристика работы печей по величине съема продукции приведена в табл. 5.6.

Таблица 5.6. Группировка заводов по съему извести с 1 м³ объема шахтных печей

Съем с 1 м³ объема печи в сутки, кг	Количество заводов	Удельный вес, %	
		в количестве заводов	в выпуске извести
До 500	5	9,2	5,1
501...700	11	20,4	14,4
701...900	18	33,3	28,6
Свыше 900	20	37,1	51,9
Итого	54	100	100

Улучшение работы шахтных печей по съемам и использованию их во времени даст возможность на 10...12% увеличить выпуск товарной извести и снизить ее себестоимость. Свыше 25% себестоимости извести составляют материальные затраты, среди которых особенно велики затраты на сырье. Исследования ВНИИСтрома показали, что эти затраты на предприятиях, работающих на собственном сырье, в 2,5 раза меньше, чем на предприятиях, получающих известняк со стороны. Привозной известняк в большинстве случаев является нефракционированным, что вынуждает организовать дробление и сортировку.

Осуществление концентрации карьерного хозяйства и комплексной механизации работ на карьерах позволяет снизить себестоимость камня на 30...40% и расходы на его транспортировку. Упорядочение карьерного хозяйства и снабжение известково-обжигательных цехов силикатных заводов позволит снизить цеховую себестоимость извести на 7...8%.

Затраты на топлива также являются весьма значительными в себестоимости извести. Перевод предприятий на газообразное топливо не только удешевляет продукцию (1,5...2 руб/т), но и улучшает качество извести. Важное условие сокращения расхода топлива и улучшения качества извести — обеспечение оптимального режима сжигания топлива в печи.

Предприятия известковой промышленности характеризуются невысоким уровнем механизации труда (30...60%), поэтому важнейшей задачей является механизация погрузочно-разгрузочных работ и транспортирование известняка и топлива к печам.

Осуществление мероприятий по снижению себестоимости обжига извести, организация снабжения заводов фракционированным известняком и углем, механизация трудоемких работ и улучшение организации труда позволяют снизить себестоимость извести на действующих предприятиях не менее чем на 20...25%.

В 1985 г. в СССР было произведено 9,4 млн. т строительной извести. В ближайшей перспективе будет увеличено производство извести, существенно повышена степень концентрации и техническая оснащенность производства на базе строительства специализированных известковых заводов годовой мощностью 300 тыс. т и более; постепенно осуществлена ликвидация мелких и нерентабельных предприятий и цехов, оснащенных устаревшими типами печей; созданы крупные специализированные карьеры, обеспечивающие известковые заводы фракционированным известняком; повышено качество и расширен ассортимент известковых вяжущих. Важнейшей задачей наращивания мощностей при этом является строительство новых высокомеханизированных предприятий с эффективными обжиговыми агрегатами.

5.Б. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

§ 5.9. Гидравлическая известь

● Гидравлическая известь — продукт умеренного обжига при температуре 900...1100°C мергелистых известняков, содержащих 6...20% глинистых примесей. При обжиге мергелистых известняков после разложения углекислого кальция часть образующейся CaO соединяется в твердом состоянии с оксидами SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 , содержащимися в минералах глины, образуя силикаты $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, алюминаты $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и ферриты кальция $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, обладающие способностью твердеть не только на воздухе, но и в воде. Так как в гидравлической извести содержится в значительном количестве свободный оксид кальция CaO , то она, так же как и воздушная известь, гасится при действии воды, причем чем больше содержание свободной CaO , тем меньше ее способность к гидравлическому твердению.

Строительную гидравлическую известь выпускают в виде тонкоизмельченного порошка, при просеивании которого остаток частиц на сите № 008 не должен превышать 15%. Кроме глинистых и песчаных примесей мергелистые известняки обычно содержат до 2...5% углекислого магния и другие примеси. Для производства гидравлической извести необходимо применять известняки с возможно более равномерным распределением глинистых и других включателей, так как от этого в значительной степени зависит качество получаемого продукта.

Для характеристики химического состава сырья, содержащего известняк и глину, а также готового вяжущего вещества обычно пользуются гидравлическим или основным модулем, который для гидравлической извести составляет 1,7...9:

$$m = \% \text{CaO} / [\% (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)]$$

Различают гидравлическую известь двух видов: слабогидравлическую с модулем 4,5...9 и сильногидравлическую с модулем 1,7...4,5.

Гидравлическая известь, затворенная водой, после предварительного твердения на воздухе продолжает твердеть и в воде, при этом физико-химические процессы воздушного твердения сочетаются с гидравлическими. Гидрат оксида кальция при испарении влаги постепенно кристаллизуется, а под действием углекислого газа подвергается карбонизации. Гидравлическое твердение извести происходит в результате гидратации силикатов, алюминатов и ферритов кальция так же, как в портландцементе. Предел прочности образцов через 28 сут твердения должен быть не менее: для слабогидравлической и сильногидравлической соответственно при изгибе — 0,4 и 1,0 МПа и при сжатии — 1,7 и 0,5 МПа.

Гидравлическая известь по химическому составу должна соответствовать требованиям, указанным в табл. 5.7. Она должна

выдерживать испытание на равномерность изменения объема. Гидравлическую известь применяют в тонкоизмельченном виде для приготовления строительных растворов, предназначенных для сухой или влажной среды, бетонов низких марок и т. д. Гидравлическая известь дает менее пластичные, чем воздушная, растворы, быстрее и равномернее твердеющие по всей толще стены и обладающие большей прочностью.

Таблица 5.7. Технические требования к гидравлической извести

Химический состав	Нормы для извести, % по массе	
	слабогидравлической	сильногидравлической
Содержание активных: не менее	40	5
не более	65	40
Содержание активной MgO , не более	6	6
Содержание углекислоты CO_2 , не более	6	5
Потери при прокаливании, не более	9	7

§ 5.10. Портландцемент

Портландцемент является важнейшим вяжущим веществом. По производству и применению он занимает первое место среди других вяжущих веществ. В 1990 г. выпуск портландцемента отечественной промышленностью достигнет 140...142 млн. т, значительно превысив уровень производства цемента в других странах, в том числе США.

Изобретение портландцемента (1824 г.) связано с именами Егора Герасимовича Челиева — начальника мастерских военной рабочей бригады и Джозефа Аспдина — каменщика из английского города Лидса.

● **Портландцемент** — гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе. Его получают тонким измельчением обожженной до спекания сырьевой смеси известняка и глины, обеспечивающей преобладание в клинкере силикатов кальция. Спекшаяся сырьевая смесь в виде зерен размером до 40 мм называется клинкером; от качества его зависят важнейшие свойства цемента: прочность и скорость ее нарастания, долговечность, стойкость в различных эксплуатационных условиях.

Для регулирования сроков схватывания в обычных цементах марок 300...500 при помоле к клинкеру добавляют гипс не менее 1,0% и не более 3,5% от массы цемента в пересчете на ангидрид серной кислоты SO_3 , а в цементах высокомарочных и быстротвердеющих — не менее 1,5% и не более 4,0%. Портланд-

цемент выпускают без добавок или с активными минеральными добавками.

ГОСТ 10178—85 предусматривает выпуск трех разновидностей портландцемента: Д0 — без добавок, Д5 — с введением до 5% активных минеральных добавок всех видов и Д20, в которую разрешается вводить свыше 5%, но не более 20% добавок, в том числе до 10% активных минеральных добавок осадочного происхождения (кроме глиежа) или до 20% доменных и электро-термофосфорных гранулированных шлаков, глиежей и прочих активных минеральных добавок.

● **Клинкер.** Качество клинкера зависит от его химического и минералогического составов. Для производства портландцементного клинкера применяют известняк и глину. Известняк в основном состоит из двух оксидов: CaO и CO_2 , а глина — из различных минералов, содержащих в основном три оксида: SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 . В процессе обжига сырьевой смеси удаляется CO_2 , а оставшиеся четыре оксида: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 — образуют клинкерные минералы. Содержание оксидов в цементе примерно следующее: 64...67% CaO , 21...24% SiO_2 , 4...8% Al_2O_3 , 2...4% Fe_2O_3 .

Кроме указанных основных оксидов в портландцементном клинкере могут присутствовать MgO и щелочные оксиды K_2O и Na_2O , снижающие качество цемента. Оксид магния, обожженный при температуре около 1500°C, при взаимодействии с водой очень медленно гасится и вызывает появление трещин в уже затвердевшем растворе или бетоне, поэтому содержание оксида магния в портландцементе не должно быть более 5%. Наличие в цементе щелочных оксидов выше 1% может вызвать разрушение отвердевшего бетона на таком цементе.

Указанные выше основные оксиды находятся в клинкере не в свободном виде, а образуют при обжиге четыре основных минерала, относительное содержание которых в портландцементе следующее (%): трехкальциевый силикат $3CaO \cdot SiO_2$ (алит) — 45...60; двухкальциевый силикат $2CaO \cdot SiO_2$ (белит) — 20...35; трехкальциевый алюминат $3CaO \cdot Al_2O_3$ — 4...12; четырехкальциевый алюмоферрит $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ — 10...18. Сокращенное обозначение этих минералов следующее: C_3S , C_2S , C_3A и C_4AF .

● **Алит** (C_3S) — основной минерал клинкера, быстро твердеет и практически определяет скорость твердения и нарастания прочности портландцемента. Он представляет собой твердый раствор трехкальциевого силиката и небольшого количества (2...4%) MgO , Al_2O_3 , P_2O_5 , Cr_2O_3 и других примесей, которые могут существенно влиять на структуру и свойства портландцемента.

● **Белит** (β - C_2S) — второй по важности и содержанию силикатный минерал клинкера, медленно твердеет и достигает высокой прочности при длительном твердении. Белит в клинкере представляет собой твердый раствор двухкальциевого силиката (β - C_2S) и небольшого количества (1...3%) Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , Cr_2O_3 и др. В связи с тем что белит при медленном охлаждении клин-

кера теряет вяжущие свойства, переходя из β - C_2S в γ - C_2S , это явление предотвращается быстрым охлаждением клинкера.

Содержание минералов-силикатов в клинкере в сумме составляет около 75%, поэтому гидратация алита и белита в основном определяет свойства портландцемента. Оставшиеся 25% объема клинкера между кристаллами алита и белита заполнены кристаллами C_3A , C_4AF , стекла и второстепенными минералами.

● **Трехкальциевый алюминат** (C_3A) при благоприятных условиях обжига образуется в виде кубических кристаллов. Он очень быстро гидратируется и твердеет. Продукты гидратации имеют пористую структуру и низкую прочность. Кроме того, C_3A является причиной сульфатной коррозии цемента, поэтому его содержание в сульфатостойком цементе ограничено 5%.

● **Четырехкальциевый алюмоферрит** (C_4AF) — алюмоферритная фаза промежуточного вещества клинкера, представляет собой твердый раствор алюмоферритов кальция разного состава, обычно ее состав близок к $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot F_2O_3$. По скорости гидратации этот минерал занимает как бы промежуточное положение между алитом и белитом и не оказывает определяющего значения на скорость твердения и тепловыделение портландцемента.

Клинкерное стекло присутствует в промежуточном веществе в количестве 5...15%, которое в основном состоит из CaO , Al_2O_3 , MgO , K_2O и Na_2O .

При правильно рассчитанной и тщательно подготовленной и обожженной сырьевой смеси клинкер не должен содержать свободного оксида кальция CaO , так как пережженная при температуре около $1500^\circ C$ известь, так же как и магнезия MgO , очень медленно гасится, увеличиваясь в объеме, что может привести к растрескиванию уже затвердевшего бетона.

Портландцемент, получаемый на заводах из различных видов природного сырья и с неодинаковой технологией производства, отличается как по химико-минералогическому составу, так и по свойствам. Требования стандарта не отражают полностью некоторых важных для строительства свойств цемента: стойкости цементного камня в агрессивных средах, морозостойкости, интенсивности тепловыделения, деформативной способности и т. д. Однако в этом значительную помощь оказывает знание минералогического состава клинкера, который имеет прямую связь с основными физико-механическими свойствами портландцемента и позволяет проектировать портландцемент для бетона конкретных эксплуатационных условий.

● **Производство портландцемента.** Сырье для производства портландцемента должно содержать 75...78% $CaCO_3$ и 22...25% глинистого вещества. Горные породы, удовлетворяющие указанным требованиям, в природе встречаются редко. Поэтому для производства портландцемента наряду с известняком и глиной следует применять так называемые корректирующие добавки, содержащие значительное количество одного из оксидов, недостающих в сырьевой смеси. Так, недостаточное количество SiO_2 ком-

пенсировается введением высококремнеземистых веществ (опоки, диатомита, трепела). Увеличить содержание оксидов железа можно путем введения колчеданных огарков или руды. Повышение содержания глинозема Al_2O_3 достигается добавлением высокоглиноземистых глин.

Кроме того, цементная промышленность все шире начинает использовать побочные продукты, например отходы разных отраслей промышленности — доменные шлаки, нефелиновый шлам (отход при производстве глинозема) и др. В них содержится 25...30% SiO_2 ; 50...58% CaO ; 2...5% Al_2O_3 ; 3...8% других оксидов. Если к сырью такого состава добавить 15...20% известняка, то состав смеси получается аналогичный используемому для получения портландцемента.

Использование в цементной промышленности побочных продуктов и отходов других отраслей — крупный шаг в разработке безотходной технологии, способствующей охране окружающей среды. Это направление работ рассматривается перспективными планами народного хозяйства до 2000 г., как одно из важнейших.

В качестве топлива применяют природный газ, сокращается использование каменного угля и мазута. В настоящее время отечественная цементная промышленность в значительной мере работает на газообразном топливе, как наиболее эффективном.

Технологический процесс производства портландцемента состоит из следующих основных операций: добычи известняка и глины, подготовки сырьевых материалов и корректирующих добавок, приготовления из них однородной смеси заданного состава, обжига смеси и измельчения клинкера в тонкий порошок совместно с гипсом, а иногда с добавками.

В зависимости от приготовления сырьевой смеси различают два основных способа производства портландцемента: мокрый и сухой. При *мокром способе* сырьевые материалы измельчают и смешивают в присутствии воды и смесь в виде жидкого шлама обжигают во вращающихся печах; при *сухом способе* материалы измельчают, смешивают и обжигают в сухом виде. В последнее время все шире начинает применяться комбинированный способ приготовления сырьевой смеси, по которому сырьевую смесь готовят по мокрому способу, затем шлам обезвоживают и из него готовят гранулы, которые обжигают по сухому способу.

Каждый из способов имеет свои положительные и отрицательные стороны. В водной среде облегчается измельчение материалов и быстро достигается однородность смеси, но расход топлива на обжиг смеси в 1,5...2 раза больше, чем при сухом способе. Развитие сухого способа длительное время ограничивалось вследствие низкого качества получаемого клинкера. Однако успехи в технике помола и гомогенизации сухих смесей обеспечили качество портландцемента.

В настоящее время получает всемерное развитие сухой способ производства цемента с печами, оборудованными циклонными

теплообменниками и реакторами-декарбонизаторами (см. рис. 5.8). Производительность технологической линии с печью $4,5 \times 80$ м, циклонными теплообменниками и реактором-декарбонизатором составляет 3000 т клинкера в сутки. При этом способе производства цемента расход топлива снижается на 30...40% по сравнению с мокрым, а металлоемкость печных агрегатов — в 2,5...3 раза. Намечается также освоение технологии и строительство цементных заводов с реактором-декарбонизатором с печами 5×100 м производительностью 5000 т клинкера в сутки.

По мокрому способу (рис. 5.5) сырьевые материалы, доставляемые из карьера на завод в кусках, подвергают предварительному измельчению (до крупности не более 5 мм). Твердые породы дробят в дробилках, а более мягкие (глина, мел) измельчают перемешиванием с водой в глиноболтушках. Болтушка представляет собой круглый железобетонный резервуар диаметром 5...10 м и высотой 2,5...3,5 м, футерованный чугунными плитами. Вокруг вертикальной оси в болтушке вращается крестовина с подвешенными в ней на цепях стальными граблями для измельчения кусков глины. Полученный в глиноболтушке шлам с влажностью около 45% выпускается через отверстие с сеткой и пере-

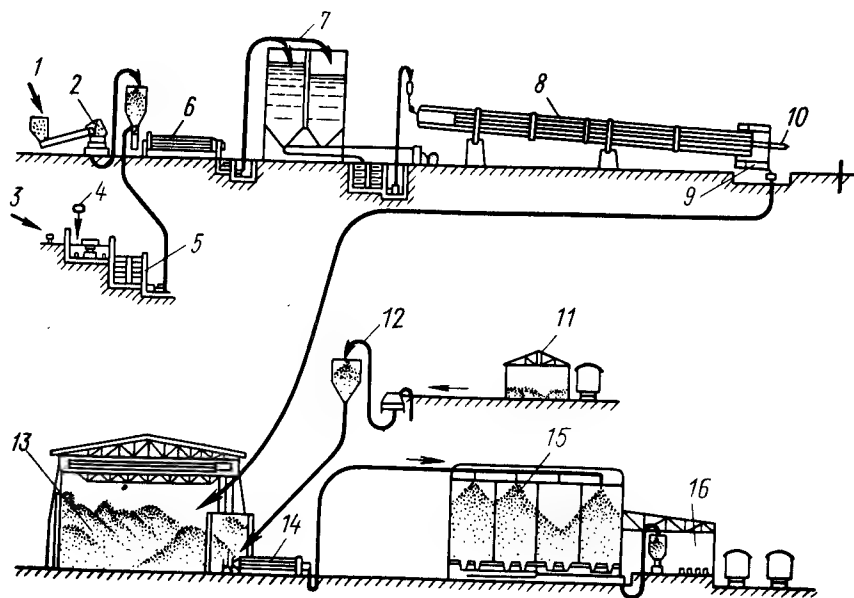


Рис. 5.5. Технологическая схема производства портландцемента по мокрому способу:

1 — подача известняка из карьера; 2 — дробилка для известняка; 3 — подача глины из карьера; 4 — подача воды; 5 — бассейн для размешивания глины; 6 — сырьевая мельница; 7 — шлам-бассейн; 8 — вращающаяся печь; 9 — холодильник; 10 — подача топлива; 11 — склад гипса; 12 — элеватор для подачи гипса из дробилки в бункер; 13 — склад клинкера; 14 — шаровая мельница; 15 — силосы для цемента; 16 — упаковка цемента

качивается в трубную (шаровую) мельницу, куда непрерывно подается дробленый известняк. Трубная мельница (рис. 5.6) представляет собой стальной цилиндр длиной до 15 м, диаметром до 3,2 м, вращающийся на полых цапфах, через которые мельницу с одной стороны загружают, а с другой стороны — разгружают. Внутри мельница разделена перегородками с отверстиями на три камеры. В первой и второй камерах имеются стальные или чугунные шары, а в третьей — небольшие цилиндрики. Через поперечную цапфу шлам поступает в первую камеру трубной мельницы. При вращении мельницы шары под действием центробежной силы и силы трения прижимаются к стенкам, поднимаются на некоторую высоту и падают, разбивая и растирая зерна материала. Трубные мельницы являются непрерывнодействующим оборудованием. Тонкоизмельченный материал в виде сметанообразной массы — шлама — подается насосом в шлам-бассейны, представляющие собой железобетонные или стальные резервуары цилиндрической формы. В них окончательно корректируется химический состав шлама и создается некоторый запас для бесперебойной работы печей. Из бассейнов шлам поступает в баки, а затем равномерно подается во вращающуюся печь для обжига.

Вращающаяся печь (рис. 5.7) представляет собой длинный цилиндр из листовой стали, облицованный внутри огнеупорным материалом. Длина печей 150...185...230 м, диаметр 4...5...7 м. Барабан печи установлен с наклоном $3,5...4^\circ$ и вращается вокруг своей оси с частотой $0,5...1,4 \text{ мин}^{-1}$. Вращающиеся печи работа-

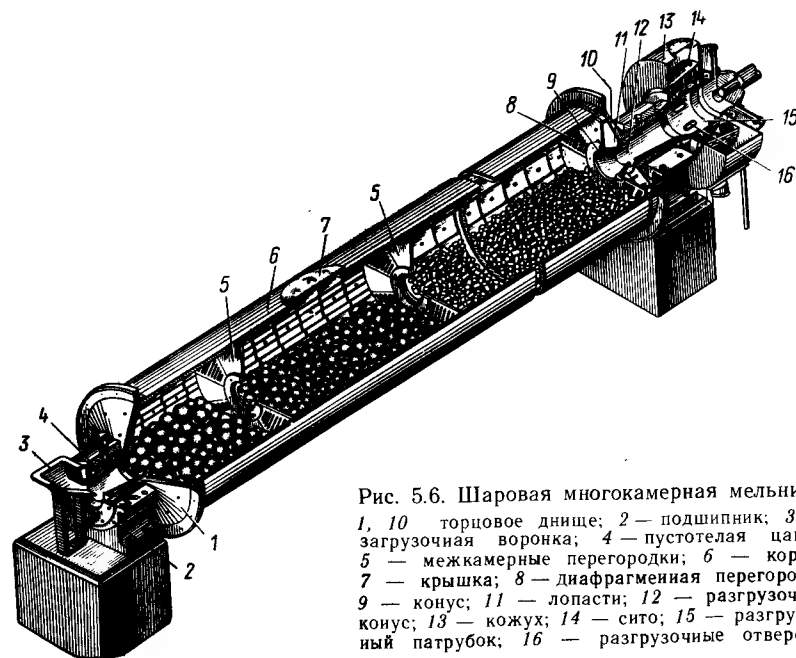


Рис. 5.6. Шаровая многокамерная мельница:

1, 10 — торцовые днища; 2 — подшипник; 3 — загрузочная воронка; 4 — пустотелая цапфа; 5 — межкамерные перегородки; 6 — корпус; 7 — крышка; 8 — диафрагменная перегородка; 9 — конус; 11 — лопасти; 12 — разгрузочный конус; 13 — кожух; 14 — сито; 15 — разгрузочный патрубок; 16 — разгрузочные отверстия

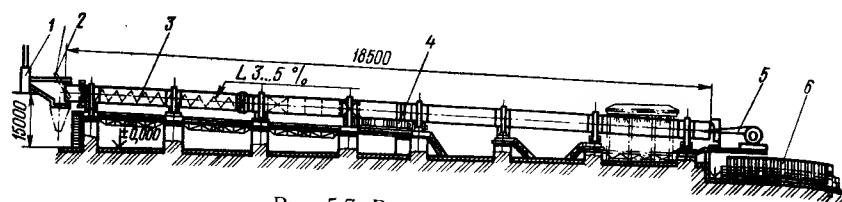


Рис. 5.7. Вращающаяся печь:

1 — дымосос; 2 — питатель для подачи шлама; 3 — барабан; 4 — привод; 5 — вентилятор с форсункой для вдувания топлива; 6 — холодильник

ют по принципу противотока. Шлам загружается с верхней стороны печи и передвигается к нижнему концу.

Топливо в виде газа или пыли каменного угля вдувается вместе с воздухом с противоположного конца печи и сгорает, создавая температуру 1500°C. Дымовые газы удаляются со стороны поднятого конца печи. Шлам, перемещаясь вдоль барабана, соприкасается с горячими газами, идущими ему навстречу, и постепенно нагревается.

Образованию портландцементного клинкера предшествует ряд физико-химических процессов, протекающих в определенных температурных границах — технологических зонах печного агрегата — вращающейся печи. При мокром способе производства цемента по ходу движения обжигаемого материала условно выделяют следующие зоны: I — испарения, II — подогрева и дегидратации, III — декарбонизации, IV — экзотермических реакций, V — спекания, VI — охлаждения. Рассмотрим эти процессы начиная с поступления сырьевой смеси в печь, т. е. по направлению с верхнего ее конца (холодного) к нижнему (горячему).

В *зоне испарения* при постепенном повышении температуры с 70 до 200°C испаряется влага; сырьевая смесь подсушивается. Подсушенный материал комкуется. Перемещаясь, комья распадаются на более мелкие гранулы. В печах сухого способа зона испарения отсутствует.

В *зоне подогрева* при постепенном нагревании сырья с 200 до 700°C выгорают органические примеси, из глиняных минералов удаляется кристаллохимическая вода (при 450...500°C) и образуется безводный каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Зоны испарения и подогрева при мокром способе занимают 50...60% длины печи.

В *зоне декарбонизации* температура обжигаемого материала повышается с 700 до 1100°C; происходит диссоциация карбонатов кальция и магния с образованием свободных CaO и MgO . Одновременно продолжается распад глинистых минералов на оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , которые вступают в химическое взаимодействие с CaO . В результате этих реакций, происходящих в твердом состоянии, образуются минералы $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и частично $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$.

В *зоне экзотермических реакций* при температуре 1200...1300°C завершается процесс твердофазового спекания материала, образуются $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ и белит, резко уменьшается количество свободной извести, но достаточное для

насыщения двухкальциевого силиката до трехкальциевого.

В *зоне спекания* при температурах 1300...1450...1300°C происходит частичное плавление материала (20...30% обжигаемой смеси). В расплав переходят все клинкерные минералы, кроме $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, все легкоплавкие примеси сырьевой смеси. Алит кристаллизуется из расплава в результате растворения в нем оксида кальция и двухкальциевого силиката. Это соединение плохо растворимо в расплаве, вследствие чего выделяется в виде мелких кристаллов, которые в дальнейшем растут. Понижение температуры с 1450 до 1300°C вызывает кристаллизацию из расплава $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ и MgO (в виде периклаза), которая заканчивается в зоне охлаждения.

В *зоне охлаждения* температура клинкера понижается с 1300 до 1000°C, здесь полностью формируются его структура и состав, включающий алит C_3S , белит C_2S , C_3A , C_4AF , MgO (периклаз), стекловидную фазу и второстепенные составляющие.

Границы зон во вращающейся печи достаточно условны и не являются стабильными. Меняя режим работы печи, можно смешать зоны и регулировать тем самым процесс обжига.

Образовавшийся таким образом раскаленный клинкер поступает в холодильник, где резко охлаждается движущимся навстречу ему холодным воздухом. Клинкер, выходящий из холодильника вращающихся печей с температурой около 100°C и более, поступает на склад для окончательного охлаждения и вылеживания (магазинирования), где он находится до 15 дней. Если известь содержится в клинкере в свободном виде, то в течение вылеживания она гасится влагой воздуха. На высокоомеханизированных заводах с четко организованным технологическим процессом качество клинкера оказывается настолько высоким, что отпадает необходимость его вылеживания.

Помол клинкера совместно с добавками производят в трубных многокамерных мельницах.

Тонкое измельчение клинкера с гипсом и активными минеральными добавками в тонкий порошок производится преимущественно в сепараторных установках, работающих по открытому или замкнутому циклу.

Эффективная работа трубной мельницы обеспечивается охлаждением мельничного пространства путем его аспирации (вентилирования). Благодаря аспирации производительность мельниц растет на 20...25%, уменьшается пылевыведение, улучшаются условия труда. Для интенсификации помола вводят добавку — сульфитно-дрожжевую бражку (СДБ), при этом производительность мельниц увеличивается на 20...30%.

На современных цементных заводах помол портландцемента в открытом цикле проходит по следующей технологической схеме. Клинкер, гипс и активные минеральные добавки со склада подаются в бункера и дозируются тарельчатыми питателями. После измельчения цемент поступает через цапфу мельницы в аспирационную шахту, а из нее в бункер цемента и далее на

склад. Мельничное пространство аспирируется, запыленный воздух частично очищается в аспирационной шахте, а затем в циклонах и электрофилтре, далее собирается шнеком и направляется в расходный бункер цемента. Недостатком помола в открытом цикле является трудность получения цемента с высокой удельной поверхностью (до 400...500 м²/кг).

Мельницы, работающие в замкнутом цикле, дают более однородный по размеру зерен продукт большей удельной поверхности (4000...5000 см²/г); замкнутый цикл помола включает помольный агрегат и центробежный сепаратор, определяющий крупные зерна, возвращаемые на домол в первую камеру, а тонкая фракция домалывается в третьей камере, из которой выгружается готовый цемент. В полностью замкнутом цикле материал проходит через сепаратор дважды.

В последнее время получает распространение короткая трубная мельница, обычно двухкамерная, работающая в замкнутом цикле с сепаратором.

Готовый портландцемент (с температурой 100°C и более) пневматическим транспортом направляется в силосы для охлаждения. После этого его расфасовывают по 50 кг в многослойные бумажные мешки или загружают в специально оборудованный автомобильный, железнодорожный или водный транспорт.

● **Производство цемента по сухому способу** экономичнее, чем по мокрому: отсутствует процесс образования шлама; можно совместить отдельные звенья технологической схемы в одном агрегате — мельницы самоизмельчения «Аэрофол», усреднительные склады, мельницы помола сырьевых материалов с подсушкой и др.

При сухом способе (рис. 5.8) поступающие на завод сырьевые материалы в виде мергеля, известняка и глины подвергают дроблению в дробилках типа С-776 до зерен крупностью 2,5 мм (глинистый материал дробят в агрегатах с одновременной его сушкой). Приготовленный дробленый сырьевой материал ленточными транспортерами подают на склад сырья, где сырьевые компоненты усредняют (с помощью усреднительных машин) до установленного норматива по химическому составу и подают далее в бункера мельниц. Из последних сырьевые компоненты вместе с добавками через дозаторы по массе поступают в приемные устройства помольных агрегатов, где их измельчают до требуемой тонины, подсушивают за счет тепла отходящих газов из вращающихся печей и подвергают сепарации.

Измельченный в мельнице материал выгружают потоком газов через циклоны-разгрузатели с помощью мельничного вентилятора. Далее мука поступает в коррекционные силосы, где она гомогенизируется и перегружается в расходные силосы. Из силосов сырьевую смесь подают пневмоподъемниками в загрузочное устройство, оснащенное дозаторами по массе, и далее в циклонные теплообменники вращающейся печи. В теплообменниках сырьевая смесь нагревается встречными горячими газами враща-

ющейся печи до температуры 750...800°C и частично декарбонизируется, после чего поступает в печь на обжиг.

Обжиг клинкера при сухом способе производства осуществляется во вращающихся печах с циклонными теплообменниками, состоящими обычно из четырех последовательно соединенных циклонов, через которые направляются отходящие из печи газы; навстречу газам сверху вниз через циклоны поступает сухая измельченная сырьевая шихта; за 25...30 с она нагревается до 750...800°C и декарбонизируется на 30...40%. Такая современная печь имеет производительность 3000 т/с при удельном расходе тепла 3,2...3,4 МДж/кг клинкера.

Техническим прогрессом является введение в систему циклонных теплообменников дополнительной диссоциационной ступени реактора-декарбонизатора (рис. 5.9), в котором сжигается до 60% топлива, предназначенного для обжига клинкера. В реакторе-декарбонизаторе происходит на 85...90% разложение карбоната кальция, а остальные 10...15% процесса диссоциации приходятся на долю вращающейся печи. Установка декарбонизатора позволяет повысить сьем клинкера с 1 м³ внутреннего объема печи в 2,5...3 раза, повысить производительность печей до 6000...10000 т/сут, снизить удельный расход теплоты до 3,0...3,1 МДж/кг клинкера. Размеры установки невелики, и она может использоваться не только при строительстве новых заводов, но и при модернизации действующих печей с циклонными теплообменниками. Таким образом, наиболее теплонапряженная стадия процесса обжига цементного клинкера — декарбонизация — выносится за пределы печи, в которой происходит только спекание клинкера, и она оказывается термически ненагруженной. Это дает возможность существенно повысить производительность печей при том же удельном расходе тепла на обжиг. Клинкер охлаждается до 60...80°C в колосниковом холодильнике и далее подается на измельчение в сепараторную мельницу.

Цемент транспортируют в силосы, из которых он идет на отгрузку навалом или через упаковочную машину в таре потребителю.

Известны вращающиеся печи полусухого способа производства, в них печь соединена с конвейерной решеткой, на которой через слой гранулированной сырьевой шихты дважды просасываются горячие печные газы; в результате в загрузочный конец печи поступает подогретая и частично декарбонизированная сырьевая шихта. Расход тепла в этой печи размерами 4×60 м — около 3,5 МДж при производительности 42 т/ч.

При комбинированном способе сырьевые материалы, подготовленные по мокрому способу, и шлам, имеющий влажность около 40%, обезвоживаются на фильтрах до влажности 16...18%. Из полученного «сухаря» готовят гранулы и обжигают их по схеме сухого способа.

● **В СССР открыт новый способ производства портландцемента — путем обжига клинкера в солевом растворе хлоридов.**

Открытый склад известняка в карьере

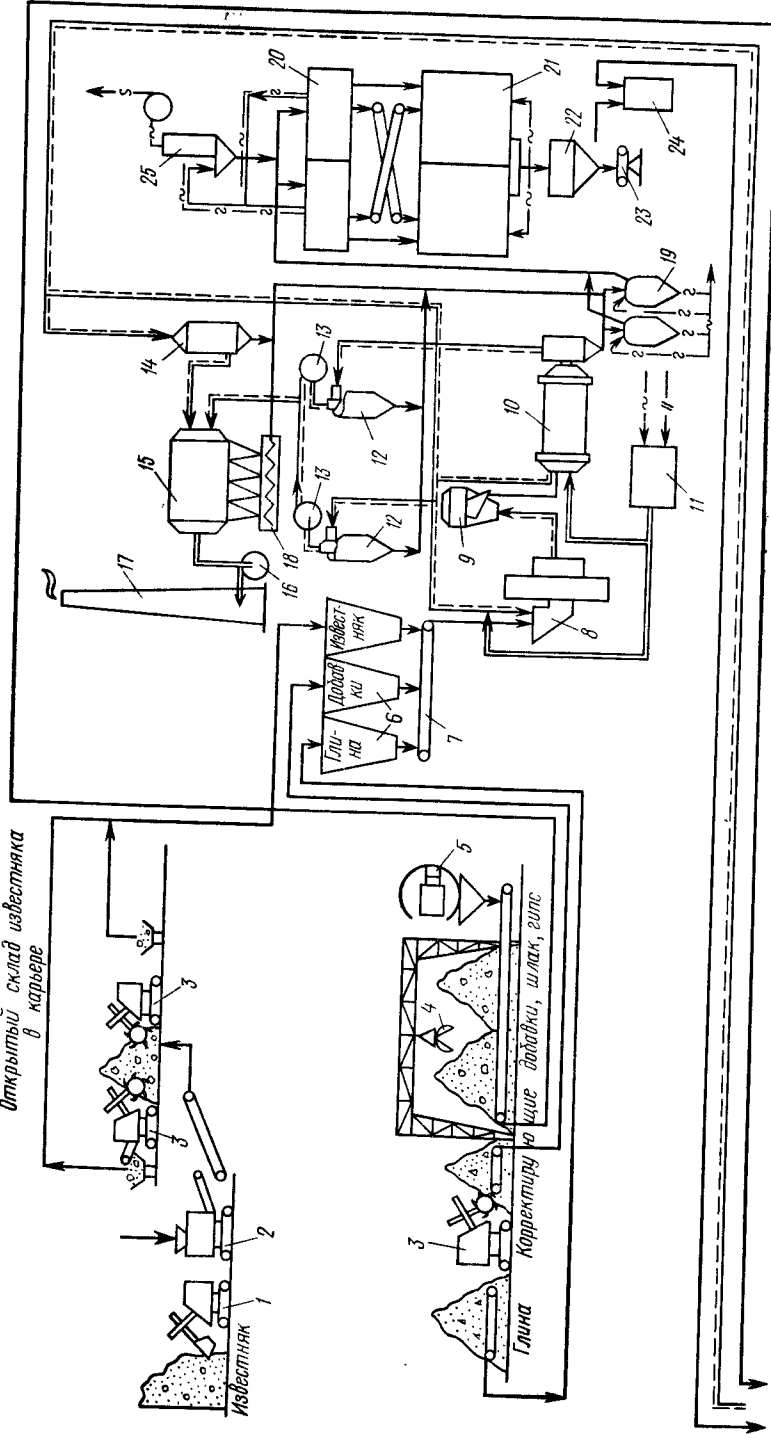
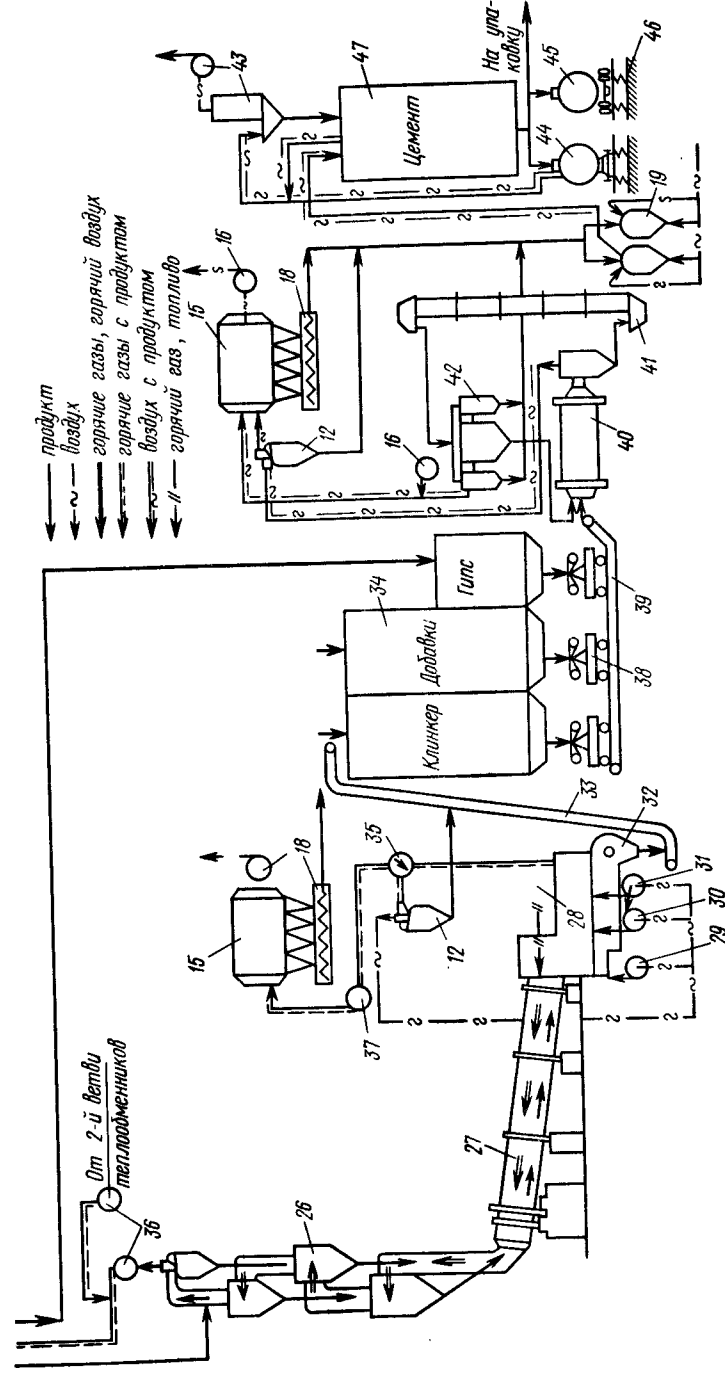


Рис. 5.8. Технологическая схема производства цемента по сухому способу:

1 — экскаватор; 2 — самоходная дробилка; 3 — роторная машина; 4 — кран-перегружатель; 5 — вагоноперегрузчик; 6 — приемные бункера сырьев; 7 — дозирующее и транспортирующее устройство; 8 — мельница предварительного измельчения «Аэрофол»; 9 — сепаратор; 10 — трубная мельница; 11 — тонка; 12 — циклон; 13 — мельничный вентилятор; 14 — кондиционер; 15 — электрофильтр; 16 — аспирационный вентилятор; 17 — дымовая труба; 18 — механизм уборки пыли; 19 — пневмокамерные насосы; 20 — корректирующие силосы; 21 — расходные силосы; 22 — расходный бункер постоянного уровня; 23 — дозатор по массе; 24 — пневмоподъемник; 25 — рукавный фильтр; 26 — циклонные теплообменники; 27 — вращающаяся печь; 28 — колосниковый холодильник; 30 — вентилятор острого дутья; 31 — конвейер клинкера; 32 — дробилка клинкера; 33 — конвейер клинкера; 34 — силосы; 35 — регулировочный шибер; 36 — дымосос; 37 — вентилятор; 38 — дозатор по массе; 39 — конвейер; 40 — трубная мельница; 41 — элеватор; 42 — сепаратор; 43 — рукавный фильтр; 44 — вагон-цементовоз; 45 — автоцементовоз; 46 — весы; 47 — цементный силос.

17 — дымовая труба; 18 — механизм уборки пыли; 19 — пневмокамерные насосы; 20 — корректирующие силосы; 21 — расходные силосы; 22 — расходный бункер постоянного уровня; 23 — дозатор по массе; 24 — пневмоподъемник; 25 — рукавный фильтр; 26 — циклонные теплообменники; 27 — вращающаяся печь; 28 — колосниковый холодильник; 30 — вентилятор острого дутья; 31 — конвейер клинкера; 32 — дробилка клинкера; 33 — конвейер клинкера; 34 — силосы; 35 — регулировочный шибер; 36 — дымосос; 37 — вентилятор; 38 — дозатор по массе; 39 — конвейер; 40 — трубная мельница; 41 — элеватор; 42 — сепаратор; 43 — рукавный фильтр; 44 — вагон-цементовоз; 45 — автоцементовоз; 46 — весы; 47 — цементный силос.



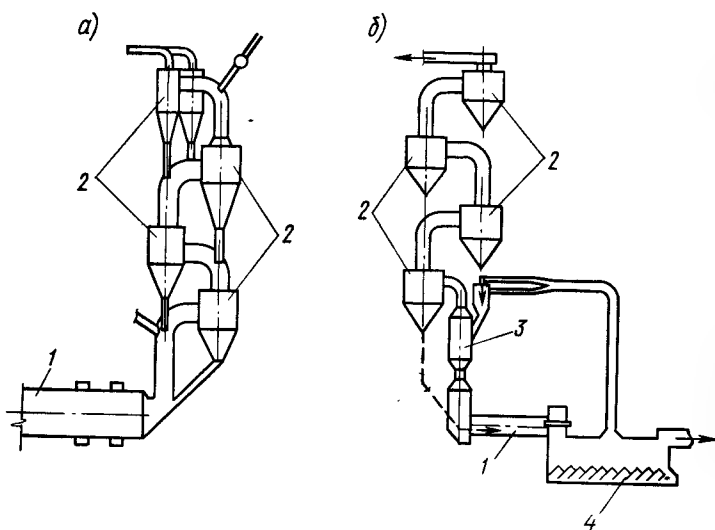


Рис. 5.9. Новое в технологии цементного производства:
 а — печь с циклонными теплообменниками; б — печь с циклонными теплообменниками и реактором-декарбонизатором; 1 — печь; 2 — циклонные теплообменники; 3 — реактор декарбонизатор; 4 — холодильник

При этом способе основная реакционная среда в печи (силикатный расплав) заменена соевым расплавом на основе хлорида кальция. В соевом расплаве ускоряется растворение основных клинкерообразующих оксидов (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) и образование минералов (алита, белита и др.) завершается при $1100\text{--}1150^\circ\text{C}$ вместо обычных $1400\text{--}1500^\circ\text{C}$, что существенно снижает энергоемкость получения цементного клинкера. Полученный клинкер наряду с алитом содержит минерал, названный алинитом.

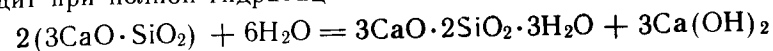
Алинит — это высокоосновный Al-Cl- силикат кальция, содержащий около 2,5 % хлорида. Клинкер, синтезированный в соевом расплаве, размалывается в 3...4 раза легче, чем обычный. Это позволяет снизить электрозатраты на помол и увеличить производительность цементных мельниц. При этом сокращается число помольных агрегатов. Алинитовый цемент быстрее гидратируется в начальные сроки. Технология нового цемента осваивается на цементных заводах. Сейчас глубоко изучаются коррозионная стойкость бетона на этом цементе и поведение стальной арматуры в бетоне с учетом наличия в нем хлора. Все это позволит определить рациональные области применения алинитового цемента.

Общий расход энергии на 1 т цемента 325...550 МДж, причем минимальные энергетические затраты достигаются при сухом способе с применением декарбонизатора: на помол клинкера с добавками затрачивается 125...180 МДж.

Твердение портландцемента — при затворении портландцемента водой образуется пластичное клейкое цементное тесто, постепенно густеющее и переходящее в камневидное состояние.

При твердении портландцемента происходит ряд весьма сложных химических и физических явлений. Каждый из минералов при затворении водой реагирует с ней и дает различные новообразования. Все процессы взаимодействия отдельных клинкерных минералов с водой протекают одновременно, налагаются один на другой и влияют друг на друга. Получившиеся новообразования могут в свою очередь взаимодействовать как между собой, так и с исходными клинкерными минералами и давать новые соединения. Все это создает трудности при изучении твердения портландцемента. Типичными реакциями для твердения портландцемента и других вяжущих веществ являются реакции гидратации, протекающие с присоединением воды. Они могут идти без распада основного вещества или сопровождаться его распадом (реакции гидролиза).

Процесс твердения портландцемента в основном определяется гидратацией силикатов, алюминатов и алюмоферритов кальция. Взаимодействие C_3S с водой при комнатной температуре происходит при полной гидратации:

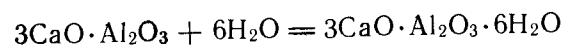


Поскольку жидкая фаза твердеющей системы быстро и полностью насыщается оксидом кальция, полагают, что вначале образуется гидросиликат кальция C_2SH_2 , который по мере выделения извести в твердую фазу переходит в $\text{CSH}(\text{B})$. Этому способствует также переход в раствор щелочей, снижающих в нем концентрацию извести.

Низкоосновные гидросиликаты кальция относятся к серии $\text{CSH}(\text{B})$. По структуре они близки к природному минералу тобермориту состава $\text{C}:\text{S} = 0,8$, и их называют тоберморитоподобными фазами.

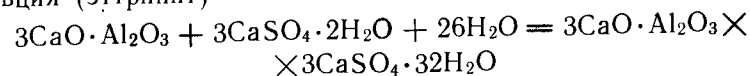
Гидратация $\beta = \text{C}_2\text{S}$ в тех же условиях идет по приведенной схеме, причем известь выделяется в меньшем количестве.

Взаимодействие C_3A с водой протекает с большей скоростью при температуре затворения 21°C и значительном выделении тепла:



C_3AH_6 является единственным устойчивым соединением из всех гидроалюминатов кальция.

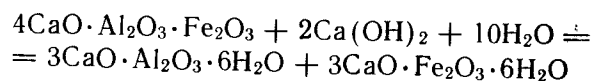
Трехкальциевый алюминат при взаимодействии с водой в присутствии двуводного гипса, гидратируясь при обычных температурах, образует комплексные соединения, трисульфогидроалюминат кальция (эттринит)



который предотвращает дальнейшую быструю гидратацию C_3A за счет образования защитного слоя и замедляет (до 3...5 ч) пер-

вую стадию процесса твердения — схватывание цемента. Вместе с тем добавка гипса ускоряет процесс твердения цемента в первые сроки гидратации.

Алюмоферритная фаза, представленная в обыкновенных портландцементах четырехкальциевым алюмоферритом (C_4AF), в условиях гидратации портландцемента, т. е. насыщенного известью раствора, при нормальной температуре взаимодействует с водой стехиометрически:



В результате образуются весьма устойчивые смешанные кристаллы $C_3(AF)H_6$.

Кроме описанных химических преобразований, протекающих при твердении цемента, большое значение имеют физические и физико-химические процессы, которые сопровождают химические реакции и приводят при затворении водой к превращению цемента сначала в пластичное тесто, а затем в прочный затвердевший камень.

Изучению химических и физических преобразований твердеющего цементного теста было посвящено много работ. Значительный вклад в развитие теории твердения цемента внесли выдающиеся советские ученые А. А. Байков, П. А. Ребиндер и др. В современном представлении механизм и последовательность процессов твердения могут быть представлены следующим образом. После добавления к цементу воды образуется раствор, который пересыщен относительно гидроксида кальция и содержит ионы Ca^{2+} , SO_4^{2-} , OH^- , Na^+ , K^+ . Из этого раствора в качестве первичных новообразований осаждаются гидросульфалоюминат и гидроксид кальция. На этом этапе упрочнения системы не происходит, гидратация минералов носит как бы скрытый характер. Второй период гидратации (схватывание) начинается примерно через час с образованием вначале очень тонких кристаллов гидросиликата кальция.

Гидросиликаты и гидросульфалоюминаты кальция растут в виде длинных волокон, пронизывающих жидкую фазу в виде мостиков, заполняющих поры. Образуется пористая матрица, которая постепенно упрочняется и заполняется продуктами гидратации. В результате подвижность твердых частиц снижается и цементное тесто схватывается. Такая первая высокопористая с низкой прочностью структура, обуславливающая схватывание, состоит главным образом из продуктов взаимодействия с водой C_3A и гипса.

В течение третьего периода (твердения) поры постепенно заполняются продуктами гидратации клинкерных минералов, происходит уплотнение и упрочнение структуры цементного камня в результате образования все большего количества гидросиликатов кальция.

В конечном виде цементный камень представляет собой неоднородную систему — сложный конгломерат кристаллических и коллоидных гидратных образований, непрореагировавших остатков цементных зерен, тонкораспределенных воды и воздуха. Его называют иногда микробетоном.

● **Структура цементного камня.** Отвердевший цементный камень представляет собой микроскопически неоднородную систему, состоящую из кристаллических сростков и гелеобразных масс, имеющих частицы коллоидных размеров. Неоднородность структуры цементного камня усиливается и тем, что в нем содержатся зерна цемента, не полностью прореагировавшие с водой.

Существенно влияют на структуру цементного камня гипс и гидравлические добавки, так как в результате их реакции с клинкерными компонентами цементного камня образуются новые продукты. Подбирая минералогический состав клинкера и получая необходимый состав цемента, дающий при твердении то кристаллические сростки, то гелевую структурную составляющую, можно воздействовать на структуру и физико-механические свойства цементного камня и бетона.

Различие в физико-механических свойствах кристаллического и коллоидного гелеобразного вещества является одной из причин влияния минералогического состава клинкера на некоторые основные строительные свойства цемента: деформативность, стойкость при переменном замораживании и оттаивании, увлажнении и высушивании. Путем рационального подбора минералогического состава клинкера можно регулировать свойства портландцемента и получить цемент, по качеству удовлетворяющий конкретным эксплуатационным условиям.

На структуру бетона оказывает значительное влияние пористость цементного камня, связанная с начальным содержанием воды в бетонной смеси. Для получения удобоукладываемой бетонной смеси в нее вводят в 2...3 раза больше воды, чем требуется на реакцию с цементом. Таким образом, большая часть воды затворения оказывается в свободном состоянии и образует в затвердевшем камне множество мелких пор. Поэтому для получения плотной структуры цементного камня необходимо применять бетонные смеси с минимальным содержанием воды. В результате повышаются прочность и морозостойкость бетона.

Структура цементного камня, а именно наличие в нем пор и гелеобразного вещества, обуславливает склонность его к влажностным деформациям. При увлажнении он разбухает, а при высушивании дает усадку. Знакопеременные сжимающие и растягивающие напряжения, вызываемые изменением влажности окружающей среды, расшатывают структуру цементного камня и понижают прочность бетона. Степень влажностных деформаций зависит от соотношения гелеобразных и кристаллических фаз в цементном камне. С увеличением последней стойкость камня в таких условиях, называемая воздухостойкостью, повышается. В отличие от рассмотренных далее пуццолановых портландце-

ментов обыкновенный портландцемент отличается высокой воздухостойкостью.

Расширение и растрескивание цементного камня могут вызвать также свободные CaO и MgO , присутствующие в цементе при низком качестве обжига. Гашение их сопровождается значительным увеличением в объеме, и продукты этого гашения разрывают цементный камень. О таком цементе говорят, что он не отвечает требованиям стандарта в отношении равномерности изменения объема при твердении.

● **Прочность портландцемента.** Согласно ГОСТ 10178—85, прочность портландцемента характеризуют пределами прочности при сжатии и изгибе. Марку цемента устанавливают по пределу прочности при изгибе образцов балочек $40 \times 40 \times 160$ мм и при сжатии их половинок, изготовленных из раствора состава 1:3 (по массе) с нормальным песком при водоцементном отношении 0,4 и испытанных через 28 сут; образцы в течение этого времени хранят во влажных условиях при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут называется активностью цемента.

Для приготовления образцов применяют чистый кварцевый песок постоянного зернового и химического составов, что позволяет исключить влияние качества песка на прочность цемента и получить сравнимые результаты. При отнесении портландцемента к той или другой марке предел прочности образцов при изгибе и сжатии в возрасте 28 сут должен быть не ниже значений, приведенных в табл. 5.8. Прочность портландцемента нарастает неравномерно: на третий день она достигает примерно 40...50% марки цемента, а на седьмой — 60...70%. В последующий период рост прочности цемента еще более замедляется, и на 28-день цемент набирает марочную прочность. Однако при благоприятных условиях твердение портландцемента может про-

Таблица 5.8. Гарантированная марка цемента по пределу прочности

Обозначение	Гарантированная марка	Предел прочности, МПа (кгс/см ²)			
		при изгибе в возрасте, сут		при сжатии в возрасте, сут	
		3	28	3	28
ПЦ-Д0	300	—	4,4 (45)	—	29,4 (300)
ПЦ-Д5	400	—	5,4 (55)	—	39,2 (400)
ПЦ-Д20,	500	—	5,9 (60)	—	49,0 (500)
ШПЦ	550	—	6,1 (62)	—	53,9 (550)
	600	—	6,4 (65)	—	58,8 (600)
ПЦ-Д20-Б	400	3,9 (40)	5,4 (55)	24,5 (250)	39,2 (400)
	500	4,4 (45)	5,9 (60)	27,5 (280)	49,0 (500)
ШПЦ-Б	400	3,4 (35)	5,4 (55)	19,6 (200)	39,2 (400)

должаться месяцы и даже годы, в 2...3 раза превысив марочную (28-суточную) прочность. Можно считать, что в среднем прирост прочности портландцемента подчиняется логарифмическому закону (рис. 5.10).

Теоретический предел прочности цементного камня при сжатии очень велик, составляет более 240...340 МПа. Практически при формировании бетонов прессованием была получена прочность 280 МПа и более.

Прочность цементного камня и скорость его твердения зависят от минералогического состава клинкера, тонкости помола цемента, содержания воды, влажности, температуры среды и продолжительности хранения.

● **Влияние минералогического состава на прочность портландцемента.** Процесс нарастания прочности клинкерных минералов портландцемента различен. Наиболее быстро набирает прочность трехкальциевый силикат: за 7 сут твердения он набирает около 70% от 28-суточной прочности (рис. 5.11), дальнейшее нарастание прочности у C_3S значительно замедляется (табл. 5.9).

Таблица 5.9. Степень гидратации клинкерных минералов во времени от полной гидратации, %

Клинкерный минерал	Продолжительность гидратации				
	3 сут	7 сут	28 сут	3 мес	6 мес
C_3S	36	46	69	93	94
C_2S	7	11	11	29	30
C_3A	82	82	84	91	93
C_4AF	70	71	74	89	91

Другая картина твердения двухкальциевого силиката. В начальный период твердения (до 28-суточного возраста) C_2S набирает всего до 15% прочности C_3S , но и в последующий период твердения двухкальциевый силикат начинает повышать свою прочность и в какой-то период достигает и даже может превысить прочность C_3S . Это явление объясняется тем, что трехкальциевый силикат гидратирует быстрее, чем двухкальциевый. К 28-суточному возрасту гидратации C_3S почти заканчивается, а гидратация C_2S к этому времени начинает развиваться. Поэтому при необходимости получить бетон высокой прочности в короткие сроки применяют цемент с большим содержанием трехкальциевого силиката — так называемый алитовый цемент, и, наоборот, если требуется высокая прочность в более позднее

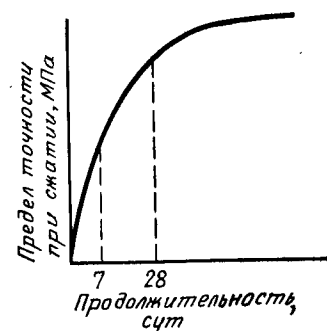


Рис. 5.10. График прочности цемента

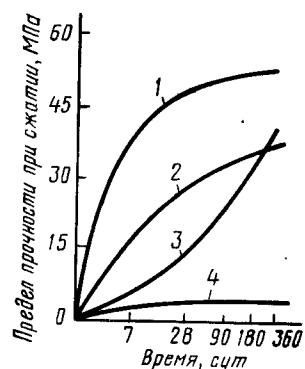


Рис. 5.11. Нарастание прочности минералов клинкера портландцемента:
1 — C_3S ; 2 — C_4AF ; 3 — C_2S ; 4 — C_3A

но не превышает 10...15 мкм (табл. 5.10). Таким образом, при обычном помоле портландцемента 30...40% клинкерной части его не участвует в твердении и формировании структуры камня. С увеличением тонкости помола цемента увеличивается степень гидратации цемента, возрастает содержание клеящих веществ — гидратов минералов — и повышается прочность цементного камня. Заводские цементы должны иметь тонкость помола, характеризуемую остатком на сите № 008 (размер ячейки в свету 0,08 мм) не более 15%. Обычно она равна 8...12%.

Таблица 5.10. Глубина гидратации клинкерных минералов

Клинкерный минерал	Глубина, мкм, гидратации через				
	3 сут	7 сут	28 сут	3 мес	6 мес
C_3S	3,5	4,7	7,9	14,5	15
C_2S	0,6	0,9	1	2,6	2,7
C_3A	10,7	10,8	11,2	13,5	14,5
C_4AF	7,7	8	8,4	12,2	13,2

Тонкость помола цемента характеризуется также величиной удельной поверхности (m^2/kg), суммарной поверхностью зерен (m^2) в 1 кг цемента. Удельная поверхность заводских цементов составляет 250...300 m^2/kg . В ряде случаев с целью повышения активности заводского цемента и для получения быстротвердеющего цемента тонкость помола повышают. Условно считают, что прирост удельной поверхности цемента на каждые 100 m^2/kg повышает его активность на 20...25%.

время (например, в гидротехнических сооружениях), то можно применять белитовый цемент. Трехкальциевый алюминат сам по себе имеет низкую прочность, однако значительно ускоряет твердение цемента в начальный период. Этим свойством C_3A пользуются, получая быстротвердеющий портландцемент. По минералогическому составу он отличается высоким содержанием C_3A и C_3S (около 60...70%, в том числе до 10% C_3A).

● **Тонкость помола.** С увеличением тонкости помола прочность цемента возрастает. Средний размер зерен портландцемента, выпускаемого отечественными заводами, составляет примерно 40 мкм. Толщина гидратации зерен через 6...12 мес твердения обыч-

Увеличение удельной поверхности цемента более 300...350 m^2/kg связано со значительным снижением производительности мельниц; кроме того, такие цементы увеличивают водопотребность, растут тепловыделение, возрастают усадочные деформации.

● **Водопотребность** цемента определяется количеством воды (% от массы цемента), необходимым для получения теста нормальной густоты. Водопотребность портландцемента 24...28%, при введении активных минеральных добавок осадочного происхождения (диатомита, трепела, опоки) водопотребность повышается до 32...37%.

● **Влияние влажности и температуры среды.** Твердение цементного камня и повышение его прочности могут продолжаться только при наличии в нем воды, так как твердение есть в первую очередь процесс гидратации.

● **Большое влияние на рост прочности цементного камня оказывают влажность и температура среды.** Скорость химических реакций между клинкерными минералами и водой увеличивается с повышением температуры, а также значительно возрастает скорость уплотнения продуктов гидратации цемента. Твердение цементного камня на практике может происходить в широком диапазоне температур: нормальное твердение — при температуре 15...20°C, пропаривание — 80...90°C, автоклавная обработка — до 170...200°C, давление пара — до 0,8...1,2 МПа и твердение — при отрицательной температуре. Наиболее быстрый рост прочности цементного камня происходит при пропаривании под давлением в автоклавах, при этом бетон через 4...6 ч приобретает марочную прочность.

В условиях пропаривания при нормальном давлении твердение бетона происходит примерно в 2 раза медленнее, чем в автоклавах. Бетоны, подвергнутые тепловлажностной обработке при температуре до 100°C, в большинстве случаев приобретают только 70% проектной прочности и лишь иногда достигают 100%. Дальнейший рост их прочности, как правило, не наблюдается.

Твердения портландцементного камня при отрицательных температурах не происходит, так как вода превращается в лед. Однако за счет добавки $CaCl_2$, $NaCl$ или их смеси бетон все же набирает прочность. Добавление к цементу электролитов $CaCl_2$, $NaCl$ в количестве 5% и более от массы цемента повышает концентрацию растворенных веществ в воде и понижает температуру ее замерзания. Кроме того, хлористые соли являются ускорителями твердения цемента. Однако применение этих солей в количестве более 2% в железобетонных конструкциях не рекомендуется из-за возможной коррозии арматуры. В последнее время в качестве противоморозной добавки используют нитрит натрия $NaNO_2$.

● **Продолжительность хранения.** Длительное хранение цемента даже в самых благоприятных условиях влечет за собой некоторую потерю его активности. После 3 мес хранения потеря актив-

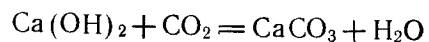
ности цемента может достигать 20%, а через год — 40%. Цементы более тонкого помола теряют больший процент активности, так как влага воздуха, соприкасаясь с цементом, вызывает преждевременную гидратацию цемента. Восстанавливать активность лежалого цемента можно вторичным помолом. Наиболее эффективен вибродомол цемента, в процессе которого повышается тонкость помола цемента, а также происходит обдирка гидратных и инертных оболочек с цементных зерен. Наиболее целесообразным методом предотвращения потери активности цемента является гидрофобизация.

● **Стойкость цементного камня.** Бетон в инженерных сооружениях в процессе эксплуатации может быть подвержен агрессивному воздействию внешней среды: пресных и минерализованных вод, совместному действию воды и мороза, попеременному увлажнению и высушиванию. Среди компонентов бетона цементный камень наиболее подвержен развитию коррозионных процессов. Для того чтобы бетон стойко сопротивлялся агрессивному воздействию внешней среды, цементный камень должен быть коррозионно-, морозо- и атмосферостойким.

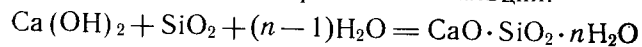
Коррозия цементного камня в водных условиях по ряду ведущих признаков может быть разделена на три вида:

I вид коррозии — разрушение цементного камня в результате растворения и вымывания некоторых его составных частей. Наиболее растворимой является гидроксид кальция, образующийся при гидролизе трехкальциевого силиката. Растворимость $\text{Ca}(\text{OH})_2$ невелика (1,3 г CaO на 1 л при 15°C), но из цементного камня в бетоне под воздействием проточных мягких вод количество растворенного и вымытого $\text{Ca}(\text{OH})_2$ непрерывно растет, цементный камень становится пористым и теряет прочность. Следует отметить, что $\text{Ca}(\text{OH})_2$ хорошо растворяется в водах, которые содержат в незначительном количестве катионы кальция и магния в виде бикарбонатов $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, придающих воде временную жесткость.

Несколько предохраняет от данного вида коррозии защитная корка из углекислого кальция, образующаяся на поверхности бетона в результате реакции между гидроксидом кальция и углекислотой воздуха



Растворимость CaCO_3 в воде почти в 100 раз меньше растворимости $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Однако существенное повышение стойкости цементного камня в пресных водах достигается введением в цемент гидравлических добавок. Они связывают $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в малорастворимое соединение — гидросиликат кальция:

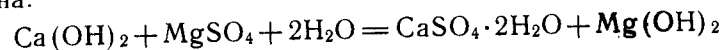


Следующей мерой защиты бетона от I вида коррозии является применение цемента, выделяющего при своем твердении минимальное количество свободной $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Таким цементом явля-

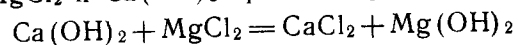
ется белитовый, содержащий небольшое количество трехкальциевого силиката.

II вид коррозии — разрушение цементного камня водой, содержащей соли, способные вступать в обменные реакции с составляющими цементного камня. При этом образуются продукты, которые либо легкорастворимы и уносятся фильтрующей через бетон водой, либо выделяются в воде аморфной массы, не обладающей связующими свойствами. В результате таких преобразований увеличивается пористость цементного камня и, следовательно, снижается его прочность.

Наиболее характерны среди упомянутых обменных реакций те, которые протекают под действием хлористых и сернокислых солей. Сернокислый магний, взаимодействуя с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ цементного камня, образует гипс и гидроксид магния — аморфное вещество, не обладающее связностью и легко вымываемое из бетона:

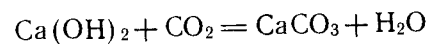


Между MgCl_2 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ протекает реакция

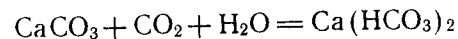


Образовавшийся хлористый кальций хорошо растворяется в воде и уносится фильтрующей водой.

Коррозия цементного камня водами, содержащими свободные углекислоту и ее соли, происходит в такой последовательности. Вначале растворенная углекислота взаимодействует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$



и образуется труднорастворимый углекислый кальций, что значительно сказывается на сохранности бетона. Однако при высоком содержании в воде CO_2 углекислота действует разрушающе на цементный камень вследствие образования легкорастворимого бикарбоната кальция:

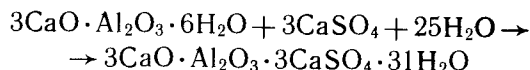


Приведенные реакции, схематически характеризующие разрушение цементного камня под действием воды, содержащей растворенные соли, показывают, что основной причиной этого разрушения является содержание в цементном камне (бетоне) свободного гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Если же ее связать в другое труднорастворимое соединение, сопротивление бетона коррозии II вида должно возрасти. Это и имеет место при использовании активных минеральных добавок.

К **III виду коррозии** относятся процессы, возникающие под действием сульфатов. В порах цементного камня происходит отложение малорастворимых веществ, содержащихся в воде, или продуктов взаимодействия их с составляющими цементного камня. Их накопление и кристаллизация в порах вызывают значи-

тельные растягивающие напряжения в стенках пор и приводят к разрушению цементного камня.

Характерным видом сульфатной коррозии цементного камня является взаимодействие растворенного в воде гипса с трехкальциевым гидросульфатом:



При этом образуется труднорастворимый гидросульфат алюмината кальция, который, кристаллизуясь, поглощает большое количество воды и значительно увеличивается в объеме (примерно в 2,5 раза), что оказывает сильное разрушающее действие на цементный камень.

В результате реакции образуются кристаллы в виде длинных тонких игл, напоминающих под микроскопом некоторые бациллы. Имея такое внешнее сходство и разрушающее действие на цементный камень, гидросульфат алюмината кальция получил название «цементная бацилла». Цемент с низким содержанием трехкальциевого алюмината должен обладать повышенной сульфатостойкостью.

Исключить или ослабить влияние коррозионных процессов при действии различных вод можно конструктивными мерами, путем улучшения технологии приготовления бетона и применения цемента определенного минералогического состава и необходимого содержания активных минеральных добавок.

Используя конструктивные меры, предотвратить действие воды на бетонную конструкцию возможно путем устройства гидроизоляции, водоотводов и дренажей. Повышение водостойкости бетона технологическими средствами достигается интенсивным уплотнением бетона при укладке или формовании, использованием бетонных смесей с минимальным водоцементным отношением, с тщательно подобранным зерновым составом заполнителей.

Роль активных минеральных добавок (трепела, опоки, диатомита, доменных гранулированных шлаков) в повышении водостойкости портландцемента рассмотрена ранее.

● **Морозостойкость.** Совместное попеременное действие воды и мороза влечет за собой разрушение бетонных сооружений. При отрицательных температурах вода, находящаяся в порах цементного камня, превращается в лед, который увеличивается в объеме примерно на 9% по сравнению с объемом воды. Лед давит на стенки пор и разрушает их.

Морозостойкость цементного камня зависит от минералогического состава клинкера, тонкости помола цемента и водоцементного отношения. До определенной тонкости помола (5000... 6000 см²/г) морозостойкость цемента увеличивается, но при дальнейшем возрастании тонкости помола морозостойкость падает. Это объясняется пористой структурой новообразований цемента сверхтонкого измельчения.

Присутствие в цементе в значительном количестве активных минеральных добавок отрицательно влияет на морозостойкость цементного камня вследствие высокой пористости их и низкой морозостойкости продуктов взаимодействия добавок с компонентами цементного камня. Среди минералов клинкера наименее морозостойким является С₃А, поэтому его содержание в цементе для морозостойких бетонов не должно превышать 5...7%.

Увеличение водоцементного отношения понижает морозостойкость цементного камня вследствие повышения его пористости. Таким образом, для увеличения морозостойкости бетона необходимо применять цементы с низким содержанием С₃А, с минимальным содержанием активных минеральных добавок и использовать бетонные смеси с возможно меньшим водоцементным отношением, тщательно уплотняя смесь при укладке.

Значительно повышают морозостойкость бетона поверхностно-активные добавки (СДБ, мылонафт). Пластифицирующие добавки СДБ существенно снижают водопотребность бетонных смесей при сохранении заданной подвижности и тем самым уменьшают пористость цементного камня. Некоторые гидрофобизирующие добавки обладают воздухововлекающей способностью (пузырьки воздуха в бетонной смеси амортизируют давление льда), повышают однородность структуры цементного камня (придают водоотталкивающие свойства) и гидрофобизируют стенки пор и капилляров, увеличивая тем самым сопротивляемость цементного камня действию воды.

Надо иметь в виду, что замораживание цементного камня в начальный период твердения является наиболее опасным, так как он еще не обладает достаточной прочностью и не может энергично сопротивляться действию льда.

§ 5.11. Добавки для цемента

Добавки для цемента классифицируют по отношению к свойствам цемента и назначению. По этим показателям добавки делят на следующие группы: 1) компоненты вещественного состава (активные минеральные добавки), изменяющие наименование цемента и обладающие гидравлическими свойствами; 2) наполнители, улучшающие зерновой состав цемента и структуру цементного камня, не обладающие или частично обладающие гидравлическими свойствами; 3) технологические — интенсификаторы помола, регулирующие основные свойства цемента: сроки схватывания, твердение, прочность цемента, пористость цементного камня (воздухововлекающие), пластичность цементно-песчаного раствора и бетона (пластифицирующие добавки), водоудерживающую способность, уменьшающие смачивание водой поверхности частиц цемента (гидрофобизирующие добавки); 4) регулирующие специальные свойства цемента: тепловыделение, объемные деформации, коррозионную стойкость, декоративные свойства и др.

§ 5.12. Портландцемент с органическими добавками

В современной технологии бетона широко используют поверхностно-активные добавки в количестве 0,05...0,3% от массы цемента.

- К **гидрофильным добавкам** относится сульфитно-дрожжевая бражка (СДБ), которая улучшает смачивание частиц цемента водой, при этом ослабляются силы взаимного сцепления между частицами вяжущего, повышаются пластичность цементного теста и подвижность бетонной смеси.

- К **гидрофобизирующим добавкам** относятся мылонафт, асидол, синтетические жирные кислоты и их соли и кремнийорганические жидкости (ГКЖ-10, ГКЖ-11, ГКЖ-94). Мылонафт — натриевое мыло нафтеновых кислот. Синтетические жирные кислоты изготавливают путем окисления парафина. Жидкости ГКЖ-10 и ГКЖ-11 представляют собой водно-спиртовые растворы метил- и этилсиликоната натрия, способные смешиваться с водой. Кремнийорганическая жидкость ГКЖ-94 — продукт гидролиза этилди-хлорсилана, ее применяют в виде водной эмульсии.

- К **добавкам-микроренообразователям** относятся абиеатат натрия и омыленный древесный пек. Абиеатат натрия получают омылением канифоли едким натром. Омыленный древесный пек представляет собой нейтрализованные щелочью смоляные кислоты древесного пека хвойных пород.

- **Комплексные добавки** обычно состоят из гидрофилизующих и гидрофобизирующих поверхностно-активных веществ.

- **Синтетические химические добавки** — суперпластификаторы (С-3, 40-03 и др.) — в последнее время получают все большее применение в технологии бетона. Они оказывают повышенное пластифицирующее действие на бетонные смеси, улучшают структуру и повышают прочность и морозостойкость бетона.

- **Пластифицированный портландцемент** отличается от обыкновенного содержанием поверхностно-активной пластифицирующей добавки. СДБ в количестве до 0,25% (в расчете на сухое вещество) повышает подвижность и удобоукладываемость бетонной смеси и придает затвердевшему бетону высокую морозостойкость. В качестве пластифицирующих добавок применяют СДБ, которую можно вводить как при помоле цемента, так и непосредственно в бетонную смесь во время ее приготовления. Молекулы СДБ образуют вокруг цементных зерен водные оболочки, выполняющие роль гидродинамической смазки, уменьшающей трение между зернами, благодаря чему повышается пластичность цементного теста. За счет пластифицирующего действия добавки появляется возможность снижения В/Ц в бетоне на 5...10%. Если же сохранить В/Ц, то можно снизить расход цемента (примерно на 10...18%) без ухудшения качества бетона. Внедрение пластифицирующих добавок не приводит к созданию новых видов цемента, а лишь придает исходному дополнительными свойствами (более высокую пластичность). Поэтому пластифи-

цированные цементы могут применяться наряду с обыкновенными, обеспечивая получение более удобоукладываемых бетонных смесей и морозостойких бетонов.

- **Гидрофобный портландцемент** отличается от обыкновенного содержанием поверхностно-активной гидрофобизирующей добавки: мылонафта, асидола, асидол-мылонафта, олеиновой кислоты или окислительного петролатума, нафтеновой кислоты и ее соли, синтетических жирных кислот и их кубовых остатков, кремнийорганических полимеров и др. Эти вещества вводят в количестве 0,1...0,2% от массы цемента в расчете на сухое вещество добавки. Гидрофобизирующие добавки образуют на зернах цемента тонкие (мономолекулярные) пленки, уменьшающие способность цемента смачиваться водой. Такой цемент, находясь во влажных условиях, сохраняет активность и не комкуется. В то же время в процессе перемешивания бетонной смеси адсорбционные пленки сдираются с поверхности цементных зерен и не препятствуют нормальному твердению цемента. В процессе приготовления бетонов некоторые гидрофобизирующие добавки вовлекают в бетонную смесь большое количество мельчайших пузырьков воздуха — до 30...50 л на 1 м³ бетонной смеси (3...5% по объему). Вовлеченный воздух или, если нет добавочного воздухововлечения, адсорбционные слои, активные в смазочном отношении, улучшают подвижность и удобоукладываемость смеси, а наличие в отвердевшем бетоне мельчайших замкнутых пустот способствует повышению морозостойкости бетона. Гидрофобный цемент отличается и более высокими водостойкостью и водонепроницаемостью.

§ 5.13. Специальные виды цемента

- **Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ)** — портландцемент с минеральными добавками, отличающийся повышенной прочностью через 3 сут твердения. Его выпускают М400 и 500. БТЦ обладает более интенсивным, чем обычный, нарастанием прочности в начальный период твердения. Это достигается путем более тонкого помола цемента (до удельной поверхности 3500...4000 см²/г), а также повышенным содержанием трехкальциевого силиката и трехкальциевого алюмината (60...65%). В остальном свойства его не отличаются от свойств портландцемента. БТЦ применяют в производстве железобетонных конструкций, а также при зимних бетонных работах. Ввиду повышенного тепловыделения его не следует использовать в массивных конструкциях.

- **Сульфатостойкий портландцемент** применяют для получения бетонов, работающих в минерализованных и пресных водах. Его получают из клинкера нормированного минералогического состава. Содержание С₃S не более 50%, С₃A не более 5% и сумма С₃A·С₄AF не более 22%. Введение инертных и активных минеральных добавок не допускается. Этот цемент, являясь по существу белитовым, обладает несколько замедленным твердением

в начальные сроки и низким тепловыделением. Сульфатостойкий портландцемент выпускают М400. Остальные требования к нему предъявляются такие же, как и к портландцементу. Сульфатостойкий портландцемент используют для получения бетонов, находящихся в минерализованных и пресных водах.

● **Сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками** выпускают М400 и 500. В качестве минеральной добавки вводят 10...20% от массы цемента гранулированный доменный шлак или электротермофосфорный шлак или 5...10% активных минеральных добавок осадочного происхождения (кроме глиежа). Клинкер для производства этого цемента не должен содержать соответственно более 5% C_3A и MgO , а сумма C_3A и C_4AF не должна превышать 22%.

● **Сульфатостойкий шлакопортландцемент** выпускают М300 и 400. Его получают путем совместного тонкого помола клинкера и гранулированного доменного шлака в количестве 21...60% и небольшого количества гипса. В этом цементе содержание в клинкере C_3A ограничивается до 8%, MgO — до 5%.

● **Пуццолановый портландцемент** выпускают М300 и 400. Его получают путем совместного помола клинкера и 25...40% от массы цемента активных минеральных добавок и гипсового камня. Клинкер для пуццоланового цемента не должен содержать более 8% C_3A и не более 5% MgO . В остальных свойствах его не отличаются от свойств портландцемента.

● **Белый портландцемент** получают из сырьевых материалов, имеющих минимальное содержание окрашивающих оксидов (железа, марганца, хрома). В качестве сырьевых материалов используют «чистые» известняки или мраморы и белые каолиновые глины, а в качестве топлива — газ или мазут, не загрязняющие клинкер золой. Помол цемента производят более тонкий: остаток на сите с сеткой № 008 должен быть не более 12%. Основным свойством белого цемента, определяющим его качество как декоративного материала, является степень белизны. По этому показателю белый цемент разделяют на три сорта: I, II и III. По прочности белый цемент выпускают М400 и 500. Портландцемент высшей категории качества должен обладать стабильными показателями прочности при сжатии, коэффициент вариации прочности портландцемента М400 не более 5%, а М500 не более 3%. Начало схватывания белого цемента должно наступать не ранее 45 мин, конец — не позднее 12 ч. Тонкость помола портландцемента должна быть такой, чтобы при просеивании сквозь сито с сеткой № 008 проходило не менее 88% массы просеиваемой пробы. Транспортируют и хранят белый цемент только в закрытой таре.

● **Цветные портландцементы** получают путем совместного помола клинкера белого цемента со свето- и щелочестойкими минеральными красителями: охрой, железным суриком, ультрамарином, оксидом хрома, сажей. П. И. Боженков предложил для получения цветных цемента в процессе приготовления сырьевой

смеси вводить оксиды некоторых металлов (0,05...1,0%). Эффективное окрашивание дают оксиды хрома (желто-зеленый цвет), марганца (голубой или бархатно-черный), кобальта (коричневый). При этом получают цементы клинкеров редких цветов, трудно достигаемых при смешивании с пигментами. Цветные цементы производят трех марок: 300, 400 и 500.

Белые и цветные цементы применяют для изготовления цветных бетонов, растворов отделочных смесей и цементных красок.

● **Тампонажный портландцемент** изготавливают измельчением портландцементного клинкера, гипса с добавками или без них. Тампонажные цементы на основе портландцементного клинкера по вещественному составу в зависимости от содержания и вида добавок подразделяются на: тампонажный портландцемент бездобавочный, тампонажный портландцемент с минеральными добавками и тампонажный портландцемент со специальными добавками, регулирующими свойства цемента. Тампонажные цементы применяют для цементирования нефтяных газовых и специальных скважин. Тампонажный портландцемент бездобавочный применяют в условиях нормальных и умеренных температур (15...100°C) и нормальной плотности цементного теста (1650...1950 кг/м³). Требования по устойчивости к воздействию агрессивных пластовых вод и объемным деформациям при твердении предъявляются. К портландцементам с минеральными добавками или со специальными добавками, или в совокупности с минеральными и специальными добавками предъявляются требования по температуре применения, по средней плотности цементного теста и устойчивости тампонажного камня к агрессивности пластовых вод (сульфатная, кислая, углекислая, сероводородная, магнезиальная и полиминеральная).

§ 5.14. Цементы с минеральными добавками

К этой группе гидравлических вяжущих веществ принадлежат цементы, получаемые совместным помолом портландцементного клинкера и активной минеральной добавки или тщательным смешиванием указанных компонентов после раздельного измельчения каждого из них. В зависимости от вида исходного вяжущего компонента и добавки цементы с активными минеральными добавками делят на пуццолановые и шлакопортландцементы.

● **Активными минеральными (гидравлическими) добавками** называют природные или искусственные вещества, которые при смешивании в тонкоизмельченном виде с известью-пушонкой и затворении водой придают ей гидравлические свойства, а при смешивании с портландцементом повышают его водостойкость. Гидравлические добавки в порошкообразном состоянии, будучи смешаны с водой, самостоятельно не затвердевают. Активные минеральные добавки подразделяют на природные и искусственные (табл. 5.11).

Активные минеральные добавки содержат вещество, способное в обычных условиях вступать в химическое взаимодействие с гидратом оксида кальция и давать труднорастворимые продукты реакции. В диатомитах, трепелах и других добавках осадочного происхождения этим веществом является водный кремнезем, а в вулканических и искусственных — преимущественно алюмосиликаты.

Минеральная добавка считается активной, если она обеспечивает конец схватывания теста, приготовленного на основе добавки и извести-пушонки, не позднее 7 сут после затворения и обеспечивает водостойкость образца не позднее 3 сут после конца его схватывания. Активность минеральных добавок характеризуется также количеством CaO , поглощенной из раствора на 1 г добавки в течение 30 сут. Отдельные виды минеральных добавок имеют активность не менее (мг/л): трепелы и диатомиты — 150, трассы — 60, пемзы, туфы, пеплы — 50, глиежи — 30.

Таблица 5.11. Активные минеральные добавки

Природные добавки		Искусственные добавки
вулканического происхождения	осадочного происхождения	
Вулканические пеплы	Диатомиты	Доменные гранулированные шлаки Белитовый (нефелиновый) шлак, отход глиноземного производства, содержащий в своем составе до 80% минерала белита, частично гидратированного Зола-унос — отход, остающийся при сжигании некоторых видов твердого топлива
Вулканические туфы	Трепелы	
Трассы — метаморфические разновидности вулканических туфов	Глиежи (естественно обожженные глинистые породы)	
Витрофиры — породы профировой структуры, состоящие в основном из темного вулканического стекла		

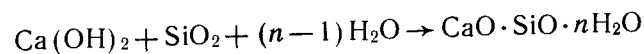
● Пуццолановый портландцемент — гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем совместного тонкого измельчения клинкера, необходимого количества гипса (до 3,5%) и активной минеральной добавки или тщательным смешиванием раздельно измельченных тех же материалов. Добавок вулканического происхождения — обожженной глины, глиежа или топливной золы — вводят 25...40% от массы цемента, а добавок осадочного происхождения диатомитов, трепелов — 20...30%. В зависимости от активности гидравлической добавки и минералогического состава

клинкера учитывается соотношение между ними. Чем активнее добавка, тем больше она способна связывать гидраты оксида кальция и тем меньше потребуется ее в пуццолановом портландцементе, и наоборот.

Водопотребность пуццолановых портландцементов с плотными и твердыми добавками (трассы, туфы) почти такая же, как и у портландцемента, а при использовании мягких пористых добавок (диатомитов и трепелов) значительно увеличивается. По этой причине необходимая подвижность бетонной смеси обеспечивается более высокой добавкой воды, что вызывает соответственно увеличение расхода цемента, чтобы не снизить прочность бетона.

Сроки схватывания и тонкость помола пуццоланового цемента такие же, как и для обыкновенного портландцемента, однако пуццолановые портландцементы характеризуются замедленным нарастанием прочности в начальный период твердения по сравнению с портландцементом без добавок, изготовленным из того же клинкера. Пуццолановый портландцемент выпускают М200, 300, 400.

При твердении пуццоланового портландцемента происходят два процесса: 1) гидратация минералов портландцементного клинкера и 2) взаимодействие активной минеральной добавки с гидратом оксида кальция, выделяющимся при твердении клинкера. При этом $\text{Ca}(\text{OH})_2$ связывается в нерастворимый в воде гидросиликат кальция:



В результате пуццолановый портландцемент оказывается более водостойким, чем обыкновенный портландцемент.

При схватывании и твердении пуццоланового цемента выделяется меньше тепла, что позволяет использовать этот цемент для массивных бетонных конструкций. Непригоден пуццолановый портландцемент для изготовления элементов, предназначенных служить в условиях попеременного систематического увлажнения и замораживания или высушивания. Пуццолановые цементы имеют меньшую водопроницаемость, чем портландцемент. Объясняется это набуханием добавки, уплотняющей бетон.

Пуццолановые цементы целесообразно применять для подводных и подземных бетонных и железобетонных конструкций, особенно тогда, когда от бетонов требуется большая водонепроницаемость и высокая водостойкость.

§ 5.15. Шлаковые цементы

● Шлаковые цементы являются разновидностью цементов с активными минеральными добавками, в которых последние представлены доменными гранулированными шлаками. Способность этих шлаков к самостоятельному водному твердению позволяет

получать шлаковый цемент по качеству выше, чем пуццолановый (с другими видами активных минеральных добавок).

Утилизация доменных шлаков для получения цемента — это один из примеров рационального и притом массового применения отходов производства.

● **Доменные шлаки** представляют собой вторичный продукт (отход), получаемый при выплавке чугуна из руд. По химическому составу доменные шлаки приближаются к портландцементу. Доменные шлаки состоят в основном из трех оксидов: CaO , SiO_2 и 90...95% Al_2O_3 . Для оценки качества шлаков как активной минеральной добавки к вяжущим веществам пользуются двумя модулями — модулем основности M_o и модулем активности M_a :

$$M_o = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{MgO}}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3}; \quad M_a = \frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{SiO}_2}$$

При $M_o > 1$ шлаки называют основными, а при $M_o < 1$ — кислыми.

Гидравлическая активность шлаков возрастает с увеличением значений обоих модулей, при этом чем выше оказывается модуль активности, тем быстрее твердеет шлак в измельченном состоянии. Надо иметь в виду, что шлаки одного и того же химического состава могут быть активными или почти совсем не обладать способностью образовывать гидравлическое вяжущее вещество. Это зависит от структуры шлака, получаемой охлаждением.

При медленном охлаждении шлака значительная часть его успевает выкристаллизоваться в виде различных устойчивых минералов, которые не обладают вяжущими свойствами. При быстром охлаждении шлаков кристаллизация затруднена и шлаки приобретают преимущественно стекловидную (аморфную) структуру. При такой структуре составляющие шлака находятся в неустойчивом неравновесном состоянии и активность их значительно выше, чем у закристаллизованных шлаков. Поэтому для повышения активности шлаков, применяемых для изготовления цементов, все огненно-жидкие шлаки подвергают резкому охлаждению. При этом они гранулируются, т. е. образуют в виде мелких зерен гранулы очень пористой структуры.

Гранулированные доменные шлаки получают на установках мокрой, полусухой и сухой грануляции. При мокром способе грануляции количество стекловидной фазы оказывается наибольшим — 40...95%. Но при мокрой грануляции получается высокая влажность шлака (до 40%), поэтому применение шлаков мокрой грануляции в производстве шлаковых цементов несколько удорожает последние за счет большого расхода топлива на сушку шлака (до 80 кг условного топлива на 1 г сухого гранулята). Качество шлака, полученного при мокрой грануляции, пока выше, чем шлаков, полученных другими способами.

Лучшие технико-экономические показатели имеют шлаки при полусухой грануляции их. Этот метод заключается в первичном

охлаждении жидкого шлака водой и окончательном охлаждении его воздухом. Влажность шлака полусухой грануляции составляет 5...10%. Для полусухой грануляции используются барабанные грануляторы, гидроударные установки и грануляционные мельницы. При этом способе грануляции на установке с барабаном (рис. 5.12) жидкий шлак из шлаковозного ковша сливается в приемную ванну и далее поступает на наклонный грануляционный желоб, в который через специальные сопла подается вода под давлением до 0,6 МПа из расчета 0,7...1,5 м³ на 1 т шлака. Сильно охлажденный шлак вместе с водой поступает на грануляционный барабан, где дробится и отбрасывается на площадку склада. При полете частицы шлака интенсивно охлаждаются воздухом.

При сухой грануляции поток шлакового расплава разбивается сильной струей воздуха или пара на мелкие капли, охлаждающиеся далее воздухом. Влажность гранулированного таким образом шлака составляет 0...5%.

● **Шлакопортландцементом** называют гидравлическое вяжущее вещество, получаемое при совместном измельчении портландцементного клинкера, доменного гранулированного шлака и гипса или путем тщательного смешения раздельно измельченных тех же компонентов. При совместном измельчении клинкера, шлака и гипса качество шлакопортландцемента несколько выше, так как при раздельном измельчении и последующем смешивании исходных материалов не удается получить продукт такой же однородности, как в первом случае. Содержание доменного гранулированного шлака в шлакопортландцементе должно составлять свыше 20% и не более 80% от массы готового продукта. Допускается часть шлака в количестве не более 10% заменять природными гидравлическими добавками (трепелом, диатомитом и др.).

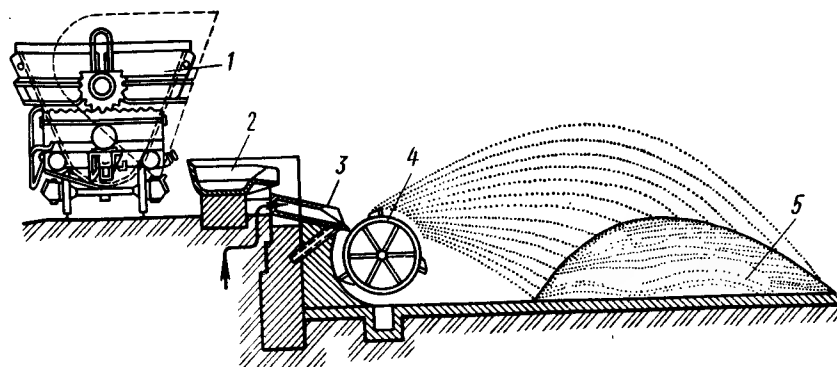


Рис. 5.12. Установка для полусухой грануляции жидкого шлака:
1 — ковш; 2 — приемная ванна; 3 — грануляционный желоб; 4 — барабан; 5 — приемная площадка

● Быстротвердеющий шлакопортландцемент в отличие от шлакопортландцемента характеризуется более интенсивным нарастанием прочности в начальный период. Для получения быстротвердеющего шлакопортландцемента применяют клинкер быстротвердеющего цемента и доменные шлаки высокой активности.

Твердение шлакопортландцемента может быть разделено на два процесса: первичный — гидратация и твердение клинкерной части цемента; вторичный — химическое воздействие продуктов гидратации клинкерной части с доменными гранулированными шлаками. При гидратации трехкальциевого силиката клинкера происходит выделение гидрата оксида кальция, взаимодействующего с глиноземом и кремнеземом шлака, и образуются гидро-силикаты и гидроалюминаты кальция. По сравнению с портландцементом шлакопортландцемент характеризуется замедленным нарастанием прочности в начальные сроки твердения, но марочная и последующие прочности его примерно одинаковы. С понижением температуры прирост прочности шлакопортландцемента сильно снижается. Повышенная температура при достаточной влажности среды оказывает на твердение шлакопортландцемента более благоприятное влияние, чем на портландцемент.

По пределу прочности при сжатии и изгибе шлакопортландцемент делят на три марки: 300, 400 и 500. Быстротвердеющий шлакопортландцемент М400 должен иметь в трехсуточном возрасте предел прочности при сжатии не менее 20 МПа и на изгиб не менее 3,5 МПа.

Водостойкость бетонов на шлакопортландцементе выше, чем на портландцементе, из-за отсутствия свободного гидрата оксида кальция. В шлакопортландцементном бетоне она связана шлаком в труднорастворимые гидроалюминаты и низкоосновные гидросиликаты кальция, тогда как в портландцементном бетоне гидрат оксида кальция в значительном количестве содержится в свободном виде и может вымываться, ослабляя бетон. Шлакопортландцементный бетон обладает удовлетворительной морозо- и воздухоустойчивостью. Однако он все же менее стоек, чем бетон на портландцементе.

Применяют шлакопортландцемент в гидротехнических сооружениях, а также в конструкциях, находящихся в условиях влажной среды. Не следует использовать этот цемент в конструкциях, подвергающихся частому замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высыханию.

Быстротвердеющий шлакопортландцемент эффективно применяют в производстве железобетонных изделий, подвергающихся тепловлажностной обработке.

§ 5.16. Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее

● Исследования проф. А. В. Волженского и других в области придания гидравлическости гипсовым вяжущим привели к созданию гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ). Это вя-

жущее получают тщательным смешиванием 50..70% полуводного гипса с 15...25% портландцемента и 10...25% активной минеральной добавки, содержащей кремнезем в активной форме (диатомит, трепел, опока, активные вулканические породы, глины, обожженные при 600...700°С, и т. п.). Получаемые вяжущие вещества относятся к гидравлическим.

Если бы активная минеральная добавка не входила в состав ГЦПВ, то при твердении получился бы неустойчивый материал, который через несколько месяцев мог бы разрушиться. Такое поведение твердеющей смеси гипса с цементом объясняется образованием высокосульфатной формы гидросульфатоалюмината кальция, кристаллизующегося с 31...32 молекулами воды. Однако если в твердеющей композиции, состоящей из гипса и портландцемента, создать условия, при которых концентрация оксида кальция в жидкой фазе резко снизится, то произойдет разложение высокоосновных гидроалюминатов кальция на низкоосновные. При этом $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и SiO_2 дают гидросиликаты $\text{CSH}(\text{B})$. По мнению исследователей, в этом случае должны возникнуть моносulfатная форма гидросульфатоалюмината кальция $3\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, гидрогранаты $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2(6-2n) \times \text{H}_2\text{O}$, гидросиликоалюминат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и их твердые растворы, при которых не появляются опасные напряжения.

Переход этtringита в односульфатную форму сопровождается уменьшением абсолютного объема твердой фазы исходного вещества и образованием воды в жидком виде, чем обеспечивается снижение опасных напряжений, которые могли возникнуть в начале твердения системы.

По данным проф. Г. И. Книгиной, путем смешения двухводного гипса, доменного шлака и горных пород, богатых содержанием активных кремнезема и глинозема, можно получить ГЦПВ. ГЦПВ выпускают М100 и 150 с началом схватывания не ранее 4 мин и концом не позднее 20 мин; тонкость помола характеризуется остатком на сите № 02 для М100 не более 15%, а для М150 — 10%. Бетоны на ГЦПВ, полученном на основе гипса и портландцемента М300, имеют М150, 200 при расходе вяжущего 300...450 кг/м³. Бетоны на ГЦПВ с использованием высокопрочного гипса через 2...3 ч достигают прочности 10...15 МПа, а через 7...15 сут нормального твердения — 30...40 МПа. Бетоны на ГЦПВ через 2...3 ч набирают 30...40% марочной прочности. Ускорить твердение изделий можно пропариванием их при температуре 70...80°С. Морозостойкость изделий на ГЦПВ равна 20...50 циклам замораживания и оттаивания и зависит от состава вяжущих, их вида, удельного расхода, плотности бетона и других факторов.

Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие применяют для приготовления оснований полов, панелей для внутренних стен, для изготовления санитарно-технических кабин и других изделий.

Производство панелей оснований пола из бетона на ГЦПВ

может быть организовано на технологическом оборудовании существующих заводов по производству крупнопанельных перегородок, что не требует создания новых производственных мощностей. Прокатные панели основания пола изготавливают из бетона на ГЦПВ с плотностью 1300 кг/м^3 и пределом прочности при сжатии не менее 7 МПа. Панели армируют деревянным каркасом. Эти панели относятся к категории «теплых».

§ 5.17. Глиноземистый цемент

● Глиноземистым цементом называют быстротвердеющее (но нормально схватывающееся) гидравлическое вяжущее вещество, получаемое при тонком измельчении обожженной до плавления (или спекания) сырьевой смеси бокситов и извести с преобладанием в готовом продукте низкоосновных алюминатов кальция. Для интенсификации процесса помола клинкера допускается введение технологических добавок до 2%, которые не ухудшают качество цемента и снижают его стоимость. Глиноземистый цемент производят трех марок: 400, 500 и 600.

В состав клинкера цемента входят низкоосновные алюминаты, при этом главной составной частью является однокальциевый алюминат $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. При затворении порошка глиноземистого цемента водой образование пластичного теста, последующее его уплотнение и твердение протекают аналогично обыкновенному портландцементу. Однокальциевый алюминат при взаимодействии с водой гидратируется, образуя в конечном итоге двухкальциевый восьмиводный гидроалюминат $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и гидрат оксида алюминия.

В дальнейшем происходит уплотнение геля двухкальциевого гидроалюмината и кристаллизация продуктов гидратации. Уплотнение и кристаллизация геля глиноземистого цемента протекают очень интенсивно, что обеспечивает быстрое нарастание прочности. Примерно через 5...6 ч прочность глиноземистого цемента может достичь 30% и более от марочной, через сутки твердения — выше 90%, а в 3-суточном возрасте — марочной прочности.

По величине предела прочности при сжатии глиноземистый цемент делят на три марки: 400, 500 и 600. Для определения марки испытывают на сжатие половинки образцов-балочек размером $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$, твердеющие 3 сут в нормальных условиях. Глиноземистый цемент является быстротвердеющим, но не быстросхватывающимся вяжущим веществом. Начало схватывания его должно наступать не ранее 30 мин, а конец не позднее 12 ч.

Наиболее благоприятными для твердения глиноземистого цемента являются влажные условия и нормальная температура (20 ± 5)°С. Нарастание прочности цемента в условиях температуры выше 25°С уменьшается. Возможны даже падение достигнутой прочности и разрушение бетона в результате перекристал-

лизации двухкальциевого гидроалюмината в трехкальциевый. Это называют болезнью глиноземистого цемента. Поэтому пропаривание изделий на глиноземистом цементе не допускается. При температуре ниже нормальной и близкой к нулю твердение глиноземистого цемента происходит удовлетворительно, что объясняется его высокой экзотермией. В течение 1...3 сут твердения глиноземистый цемент выделяет в 1,5...2 раза больше тепла, чем портландцемент. Большое тепловыделение ограничивает применение глиноземистого цемента в массивных конструкциях, так как разогрев бетона внутри массива и охлаждение его снаружи вызывают растягивающие напряжения в наружных слоях и образование трещин.

Тонкость помола характеризуется остатком на сите № 008, которого должно быть не более 10% массы пробы.

Бетоны на глиноземистом цементе водо-, воздухо- и морозостойки, а также стойки в условиях пресных и сульфатных вод, однако разрушаются в щелочных водах. Высокая воздухо- и морозостойкость глиноземистого цемента объясняется уплотнением и кристаллизацией продуктов гидратации цемента и их незначительной деформативной способностью при изменении влажности воздуха. Бетоны на глиноземистом цементе обладают значительной плотностью, что и определяет их высокую морозостойкость. Повышению плотности способствует гель гидрата оксида алюминия, образующийся при гидратации однокальциевого алюмината, который имеет плотное строение.

Применение глиноземистого цемента существенно ограничивается его стоимостью (он в 3...4 раза дороже портландцемента), хотя по своим физико-химическим свойствам (скорости твердения, стойкости в различных средах) он превосходит все другие вяжущие вещества, в том числе и портландцемент. Применяют глиноземистый цемент в тех случаях, когда наиболее рационально используются его специфические свойства, например при срочных восстановительных работах (ремонт плотин, дорог, мостов, при срочном возведении фундаментов). Химическая стойкость глиноземистого цемента делает целесообразным его использование для тампонирования нефтяных и газовых скважин, на предприятиях пищевой промышленности, на травильных и красильных предприятиях, для футеровки шахтных колодцев и туннелей. Глиноземистый цемент по сравнению с другими вяжущими обладает стойкостью против действия высоких температур (1200...1400°С и выше), что позволяет использовать его для изготовления жаростойких бетонов, применяемых в качестве футеровки тепловых аппаратов.

§ 5.18. Расширяющийся цемент

К этой группе вяжущих относятся цементы, несколько увеличивающиеся в объеме при твердении во влажных условиях или не дающие усадки при твердении на воздухе.

● **Водонепроницаемый расширяющийся цемент** представляет собой быстрохватывающееся и быстротвердеющее гидравлическое вяжущее вещество, получаемое помолом или смешением в шаровой мельнице тонко измельченных глиноземистого цемента, гипса и высокоосновного алюмината кальция. Высокоосновный алюминат кальция ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) получают гидротермической обработкой в течение 5...6 ч при температуре 120...150°C смеси глиноземистого цемента с известью (1:1), затворенной 30% воды. Полученный продукт высушивают и измельчают. Начало схватывания цемента не ранее 4 мин, а конец — не позднее 10 мин. Схватывание можно замедлить добавкой СДБ, уксусной кислоты и буры. Линейное расширение через 1 сут твердения цемента должно быть не менее 0,2% и не более 1%. Применяют водонепроницаемый расширяющийся цемент при восстановлении разрушенных бетонных и железобетонных конструкций, для гидроизоляции туннелей, стволов шахт, в подземном и подводном строительстве, при создании водонепроницаемых швов.

● **Гипсоглиноземистый расширяющийся цемент** является быстротвердеющим гидравлическим вяжущим, получаемым путем совместного тонкого помола или смешения высокоглиноземистого клинкера или шлака и природного двуводного гипса. Применяют гипсоглиноземистый цемент для получения безусадочных и расширяющихся водонепроницаемых растворов и бетонов, для зачеканки швов, гидроизоляции шахт.

● **Расширяющийся портландцемент (РПЦ)** — гидравлическое вяжущее вещество, получаемое совместным тонким помолом портландцементного клинкера — 58...63%, глиноземистого шлака или клинкера — 5...7%, гипса — 7...10% и гранулированного доменного шлака или другой активной минеральной добавки — 23...28%. РПЦ быстро твердеет в условиях кратковременного пропаривания, обладает высокой плотностью и водонепроницаемостью во влажной среде в течение 3 сут твердения, способностью расширяться.

● **Напрягающий цемент (НЦ)** при затворении водой сначала твердеет и набирает прочность, а в последующее время расширяется и напрягает железобетон. Этот цемент получен В. В. Михайловым. Он состоит из 65...75% портландцемента, 13...20% глиноземистого цемента и 6...10% гипса; его удельная поверхность не менее 3500 $\text{см}^2/\text{г}$, начало схватывания не ранее 30 мин и конец — не позднее чем через 4 ч после затвердения. НЦ быстро твердеет, прочность при сжатии через 1 сут должна быть не менее 15 МПа, через 28 сут твердения — 50 МПа. Применяют самонапрягающий цемент для изготовления напорных труб, резервуаров для воды, хранения бензина, спортивных сооружений.

§ 5.19. Экономика производства цемента

Цементная промышленность СССР в послевоенный период развивалась высокими темпами (табл. 5.12). СССР занимает начиная с 1962 г. первое место по выпуску этого важней-

шего строительного материала. Прирост производства цемента в истекшем пятилетии был достигнут как за счет ввода новых производственных мощностей, так и улучшения использования действующего оборудования.

Таблица 5.12. Показатели развития цементной промышленности СССР

Наименование показателей	1965 г.	1980 г.	1985 г.
Выпуск цемента всего, млн. т	72,4	125,0	130,8
В том числе:			
портландцемента	48,7	85,8	88,4
шлакопортландцемента	18,2	31,9	35,1
пуццоланового портландцемента	3,9	4,7	3,8

Улучшилось качество цемента и расширился его ассортимент. Средняя марка цемента возросла по всем основным его видам, снизилась доля низкомарочных цемента в общем объеме выпуска и увеличилась доля цемента высоких марок. Значительно возросло производство быстротвердеющего, а также специальных видов цемента (сульфатостойкого, тампонажного и др.).

Производительность труда в цементной промышленности ежегодно растет, а себестоимость снижается. Вместе с тем следует отметить, что имеются резервы дальнейшего повышения эффективности производства и снижения себестоимости продукции (табл. 5.13).

Таблица 5.13. Структура себестоимости цемента, % к полной себестоимости

Наименование затрат	1965 г.	1975 г.	1985 г.
Сырье, основные материалы, вспомогательные и прочие материалы	26,7	26,4	25
Топливо	22,0	23,4	25
Электроэнергия	12,4	11,6	11,2
Заработная плата с начислениями	3,7	2,4	2,4
Расходы по освоению	—	0,9	1,0
Расходы, связанные с работой оборудования	19,9	22,8	28,0
Цеховые и общезаводские расходы	8,9	8,9	12,0
Внепроизводственные расходы	6,4	3,6	3,0

Обращают на себя внимание высокая топливо- и энергоемкость производства цемента и сравнительно высокий уровень затрат на амортизацию основных средств. В силу этого очень большое значение в современном цементном производстве приобретают вопросы рационального использования оборудования и топлива. На передовых цементных заводах себестоимость портландцемента относительно низка, например на Серебряковском,

Новороссийском, Белгородском около 10 руб/т. В то же время имеются заводы с чрезмерно высокой себестоимостью цемента — 23 руб/т и более. В среднем себестоимость 1 т цемента составляет 18,8 руб.

Несмотря на некоторое улучшение в использовании календарного времени печного парка, простой печей на ряде заводов фактически превышают технически необходимое время, это же имеет место и при использовании мельниц.

Цементное производство весьма топливоемко: в 1985 г. для производства цемента израсходовано более 30 млн. т условного топлива (только на технологические цели). На производство клинкера по сухому способу топлива идет примерно на 20% меньше, чем по мокрому. По печам длиной более 150 м расход топлива составляет 238 кг, т. е. в 1,5 раза ниже, чем по малопродуктивным печам.

Снижение расхода топлива на производство 1 т клинкера объясняется прежде всего внедрением новых высокопроизводительных печей, экономичных в теплотехническом отношении. На сокращении расхода топлива сказались следующие технические мероприятия, одновременно являющиеся путями дальнейшей рационализации использования топлива в цементной промышленности: внедрение рациональных теплообменных устройств и высокотойких огнеупоров; применение разжижителей шлама для снижения его влажности, что обеспечивает снижение расхода топлива на 2,5...3%; интенсификация обжига и внедрение его автоматического регулирования; перевод предприятий на газообразное топливо.

Снижение удельного расхода топлива на обжиг клинкера также зависит от повышения коэффициента использования действующих печей и достижения проектной производительности нового оборудования.

Из общего количества потребляемой цементной промышленностью электроэнергии примерно 40% расходуется на помол цемента, 30% — на обжиг клинкера, поэтому наибольшие резервы снижения электроемкости заключены в повышении эффективности работы мельниц. Весьма перспективны в этой связи внедрение ударно-центробежных дробилок производительностью до 60 т/ч для предварительного дробления клинкера, внедрение мероприятий по установке аспирационных шахт взамен циклонов и др.

В перспективе предусматривается дальнейшее развитие цементной промышленности. Намечается оснащение мощных вращающихся печей встроенными теплообменными и рациональными цепными завесами, что повысит производительность печей на 8...10%, снизит расход топлива и уменьшит пылеунос с отходящими газами; предусмотрено увеличение использования для футеровок вращающихся печей эффективных огнеупоров. На цементных заводах устанавливаются высокопроизводительные печи размером 7×230 и 5×75 м с циклонными теплообменниками

и реакторами-декарбонизаторами, которые позволят на 30...40% снизить расход топлива по сравнению с мокрым способом, а также же печи производительностью до 3000...5000 т/сут для работы по сухому способу производства, мельницы сухого помола размером 4×13,5 м, работающие по замкнутому циклу, роторные мельницы для переработки мягкого сырья.

Намечается также увеличение производства быстротвердеющего и высокопрочного портландцемента, освоение выпуска белого и цветных цементов с широкой цветной гаммой. Производство их в 1985 г. по сравнению с 1970 г. возросло более чем в 2,2 раза, расширился выпуск сульфатостойкого, дорожного и других специальных видов цемента. Увеличено производство и улучшено качество шлакопортландцемента. Значительно возрос объем производства цемента на крупных заводах с печами размером 5×185 м.

Строительство новых предприятий позволило значительно повысить эффективность работы цементной промышленности.

Дальнейшее улучшение показателей экономической эффективности в цементной промышленности обеспечивается применением наиболее эффективных технологических способов и совершенного оборудования, широким внедрением катализаторов и интенсификаторов процессов обжига клинкера, помола цемента и коренными усовершенствованиями процессов пылеулавливания.

В ближайшей перспективе будут продолжены изыскание и разработка более эффективных технологических схем добычи, переработки, транспортировки и подготовки сырьевой смеси.

● Бетон — искусственный камень, получаемый в результате формования и твердения рационально подобранной смеси вяжущего вещества, воды и заполнителей (песка и щебня или гравия). Смесь этих материалов до затвердения называют бетонной смесью.

Зерна песка и щебня составляют каменный остов в бетоне. Цементное тесто, образующееся после затворения бетонной смеси водой, обволакивает зерна песка и щебня, заполняет промежутки между ними и играет роль смазки заполнителей, придающей бетонной смеси подвижность (текучесть). Цементное тесто, затвердевая, связывает зерна заполнителей, образуя искусственный камень — бетон.

● Бетон в сочетании со стальной арматурой называют железобетоном.

Получение смеси и бетона хорошего качества возможно только при глубоком знании их технологии; умелом подборе составляющих материалов надлежащего качества и в оптимальных соотношениях; режимах приготовления бетонной смеси, методах ее укладки, уплотнения, условий твердения, обеспечивающих получение бетонных конструкций высокой прочности, долговечности и низкой стоимости.

В бетон могут вводиться специальные добавки, улучшающие свойства бетонной смеси и бетона.

Бетон является одним из важнейших строительных материалов во всех областях современного строительства. Это объясняется изменением свойств бетона в широком диапазоне путем использования компонентов соответствующего качества, применения специальных методов механической и физико-химической обработки, возможностью изготовления самых разнообразных по форме и размерам долговечных строительных конструкций, возможностью полной механизации бетонных работ, экономичностью бетона, так как до 80...85% объема его составляют заполнители из местных каменных материалов.

§ 6.1. Классификация бетона и требования к нему

● Бетоны классифицируют по следующим ведущим признакам: по основному назначению, виду вяжущего вещества и заполнителя и по структуре.

По назначению бетоны бывают следующих видов: *конструктивные* — для бетонных и железобетонных несущих конструкций зданий и сооружений (фундаменты, колонны, балки, плиты, па-

нели перекрытий и др.); *специальные* — жаростойкие, химически стойкие, декоративные, радиационно-защитные, теплоизоляционные и др., бетоны *напрягающие*, *бетонополимеры*, *полимербетоны*.

По виду вяжущего вещества бетоны бывают: *цементные*, изготовленные на гидравлических вяжущих веществах — портландцементных и его разновидностях; *силикатные* — на известковых вяжущих в сочетании с *силикатными* или *алюминатными* компонентами; *гипсовые* — с применением гипсоангидридных вяжущих и бетоны на *шлаковых* и *специальных вяжущих материалах*.

Бетоны изготовляют на обычных плотных *заполнителях*, на естественных или искусственных пористых заполнителях; кроме того, разновидностью является ячеистый бетон, представляющий собой отвердевшую смесь вяжущего вещества, воды и тонкодисперсного кремнеземистого компонента. Он отличается высокой пористостью до 80...90% с равномерно распределенными пораами размером 3 мм.

В связи с этим бетоны классифицируют также по *структуре*: *плотная*, *поризованная*, *ячеистая* и *крупнопористая*.

По *виду заполнителя* различают бетоны: на плотных заполнителях, пористых и специальных, удовлетворяющих специальным требованиям (защиты от излучений, жаростойкости, химической стойкости и т. п.).

По *показателям прочности* при сжатии тяжелые бетоны имеют марки от 100 до 800. Марка бетона — одно из нормируемых значений унифицированного рода данного показателя качества бетона, принимаемых по его среднему значению. К различным видам бетонов устанавливаются требования по показателям, характеризующим прочность, среднюю плотность, водонепроницаемость, стойкость к различным воздействиям, упругопластические, теплофизические, защитные, декоративные и другие свойства бетонов.

Определенные требования предъявляются к материалам для приготовления бетона (вяжущим, добавкам, заполнителям), его составу и технологическим параметрам по изготовлению конструкций для их работы в конкретных условиях.

По показателям прочности бетона устанавливаются их гарантированные значения — классы. В соответствии с СТ СЭВ 1406—78 бетоны, предназначенные для зданий и сооружений, делят на классы В, основной контролируемой характеристикой которых является прочность при сжатии кубов размером 150×150×150 мм и соответственно цилиндров размером 150×300 мм. Для перехода от класса бетона (МПа) при нормативном коэффициенте вариации 13,5% применяют формулу

$$R_b^{sp} = B/0,778.$$

Долговечность бетона оценивают степенью морозостойкости. По этому показателю бетоны делят на марки от F15 до F1500.

Качество бетона оценивают по водонепроницаемости, которая

определяется максимальной величиной давления воды, при котором не наблюдается ее просачивания через контрольные образцы, изготовленные и испытанные на водонепроницаемость согласно требованиям действующих стандартов.

§ 6.2. Материалы для тяжелого бетона

Тяжелый бетон, применяемый для изготовления фундаментов, колонн, балок, пролетных строений мостов и других несущих элементов и конструкций промышленных и жилых зданий и инженерных сооружений, должен приобретать определенную прочность в заданный срок твердения, а бетонная смесь должна быть удобной в укладке и экономичной. При использовании в не защищенных от внешней среды конструкциях бетон должен иметь повышенные плотность, морозостойкость и коррозиестойкость. В зависимости от назначения и условий эксплуатации бетона в сооружении предъявляются соответствующие требования к составляющим его материалам, которые определяют его состав и свойства, оказывают влияние на технологию производства изделий, их долговечность и экономичность.

● Для приготовления тяжелых бетонов применяют портландцемент, пластифицированный портландцемент, портландцемент с гидравлическими добавками, шлакопортландцемент, быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) и др. Цемент выбирают с учетом требований, предъявляемых к бетону (прочности, морозостойкости, химической стойкости, водонепроницаемости и др.), а также технологии изготовления изделий, их назначения и условий эксплуатации.

Марку цемента выбирают в зависимости от проектируемой прочности бетона при сжатии:

Прочность бетона, МПа	100	150	200	250	300	400	500	600 и выше
Марка цемента	300	300	300...400	400	400...500	500...600	600	600

● Для приготовления бетонной смеси применяется питьевая, а также любая вода, не содержащая вредных примесей (кислот, сульфатов, жиров, растительных масел, сахара), препятствующих нормальному твердению бетона. Нельзя применять воды болотные и сточные, а также воды, загрязненные вредными примесями, имеющие водородный показатель pH менее 4 и содержащие сульфаты в расчете на ионы SO_4 более 2700 мг/л и всех других солей более 5000 мг/л. Морскую и другую воду, содержащую минеральные соли, можно применять, если общее количество солей в ней не превышает 2%. Пригодность воды для бетона устанавливают химическим анализом и сравнительными испытаниями прочности бетонных образцов, изготовленных на данной

воде и на чистой питьевой воде и испытанных в возрасте 28 сут при хранении в нормальных условиях. Воду считают пригодной, если приготовленные на ней образцы имеют прочность не меньше, чем у образцов на чистой питьевой воде.

● К добавкам для бетонов относятся неорганические и органические вещества или их смеси, за счет введения которых в бетонных смесях и бетонов либо бетонам придаются специальные свойства. В основу классификации добавок для бетонов положен эффект их действия. По этому признаку добавки для бетонов делят на следующие группы:

1. Регулирующие реологические свойства бетонных смесей. К ним относятся пластифицирующие, увеличивающие подвижность бетонных смесей; стабилизирующие, предупреждающие расслоение, и водоудерживающие, уменьшающие водоотделение.

2. Регулирующие схватывание бетонных смесей и твердение бетонов. К ним относятся добавки, замедляющие схватывание, ускоряющие схватывание и твердение, и противоморозные, т. е. обеспечивающие твердение бетона при отрицательных температурах.

3. Добавки, регулирующие пористость бетонной смеси и бетона. К ним относятся воздухововлекающие, газообразующие и пенообразующие добавки, а также уплотняющие (воздухоудаляющие или кольтматирующие поры бетона).

4. Добавки, придающие бетону специальные свойства: гидрофобизирующие, уменьшающие смачивание, повышающие противорадиационную защиту, жаростойкость; антикоррозионные, т. е. увеличивающие стойкость в агрессивных средах; ингибиторы коррозии стали, улучшающие защитные свойства бетона к стали; добавки, повышающие бактерицидные и инсектицидные свойства.

5. Добавки полифункционального действия, одновременно регулирующие различные свойства бетонных смесей и бетонов: пластифицирующе-воздухововлекающие; пластифицирующие, повышающие прочность бетона, и газообразующе-пластифицирующие.

6. Минеральные порошки — заменители цемента. К этой группе относятся тонкомолотые материалы, вводимые в бетон в количестве 5...20%. Это золы, молотые шлаки, отходы камнедробления и др., придающие бетону специальные свойства (жаростойкость, электропроводимость, цвет и др.).

В качестве пластифицирующих добавок наибольшее распространение получили поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Поверхностно-активные добавки представляют собой особую группу органических веществ, введение которых в бетонные (растворные) смеси позволяет существенно улучшить их удобоукладываемость. Вместе с тем поверхностно-активные добавки позволяют уменьшить водоцементное отношение и соответственно сократить расход цемента без снижения прочности материалов и изделий. Использование поверхностно-активных добавок в малых

дозах (0,05...0,2% от массы цемента) позволяет на 8...12% уменьшать удельный расход цемента в бетонах и растворах. Вместе с тем поверхностно-активные добавки повышают водонепроницаемость, морозостойкость, коррозиестойкость и вообще долговечность материалов в конструкциях. Этим самым применение поверхностно-активных добавок способствует повышению эффективности капиталовложений в строительство. По указанным причинам поверхностно-активные добавки в цементно-бетонной технологии приобретают все большее значение как у нас, так и за рубежом.

Действие поверхностно-активных добавок на цементные системы основано на следующих положениях физической химии. Поверхностно-активные вещества способны повышать поверхностное натяжение у поверхности раздела фаз, например на границах раздела фаз вода — твердое тело, вода — воздух. Мельчайшие частицы поверхностно-активных веществ адсорбируются, т. е. прочно связываются с внутренней поверхностью раздела тел, образуя на этих поверхностях молекулярные слои толщиной в одну молекулу. Величина этого адсорбционного слоя относится к диаметру цементной частицы так же, как толщина спички к высоте 30-этажного здания. Однако применение в малых дозах добавок поверхностно-активных веществ к цементным системам существенно меняет свойства их.

Поверхностно-активные добавки, используемые в цементах, растворах и бетонах, по определяющему эффекту действия на цементные системы можно условно разделить на три группы: гидрофилизующие, гидрофобизующие и воздухововлекающие.

Гидрофилизующие добавки при затворении вяжущего водой предотвращают на определенный срок слипание отдельных цементных частиц между собой. В этом случае несколько замедляется коагуляция новообразований, а вместе с тем высвобождается некоторое количество воды, которое обычно как бы застревает в коагуляционных структурах. По этой причине требуемая удобоукладываемость смеси с добавкой достигается при меньшем количестве воды затворения, чем у смеси без добавки. Наибольшее распространение получили гидрофилирующие добавки на основе лигносульфатов — сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ). Эта добавка несколько замедляет твердение бетона в раннем возрасте и поэтому на заводах ЖБИ ее применяют в сочетании с добавками — ускорителями твердения.

Суперпластификаторы — новые эффективные разжижители бетонной смеси — в большинстве случаев представляют синтетические полимеры — производные меламина или нафталинсульфокислоты. Применяют суперпластификатор С-3 (НИИЖБ) — на основе нафталинсульфокислоты, суперпластификатор 10-03 (ВНИИЖелезобетон) — продукт конденсации сульфированного меламина с формальдегидом и др. При введении в бетонную смесь суперпластификатора резко увеличивается ее подвижность и текучесть. Воздействуя на бетонную смесь,

как правило, в течение 2...3 ч с момента введения, суперпластификаторы под действием щелочной среды подвергаются частичной деструкции и переходят в другие вещества, безвредные для бетона и не тормозящие процесса твердения. Суперпластификаторы, вводимые в бетонную смесь в количестве 0,15...1,2% от массы цемента, разжижают бетонную смесь в большей мере, чем обычные пластификаторы. Пластифицирующий эффект сохраняется, как правило, 1...2 ч после введения добавки, а через 2...3 ч он уже невелик. Суперпластификаторы используются в бетонах как единолично, так и в комплексе с другими добавками, например с сульфитно-дрожжевой бражкой (СДБ) и нитрит-нитрат-хлоридом кальция (ННХК). При использовании комплексной добавки содержание каждой добавки составляет: «10-03» — 0,3...1,2%; ННХК — 1,5...2,5% и СДБ — 0,1...1,15% от массы цемента. Суперпластификаторы позволяют существенно снизить В/Ц, повысить подвижность смеси, изготовить изделия высокой прочности, насыщенных арматурой из изопластичных смесей.

Гидрофобизующие добавки, как правило, существенно повышают нерасслаиваемость, связанность бетонной (растворной) смеси, находящейся в покое. При действии внешних механических факторов (при перемешивании, укладке и т. д.) бетонная или растворная смесь с добавкой отличается повышенной пластичностью. Такое свойство гидрофобизующих смесей объясняется специфическим смазочным действием тончайших слоев поверхностно-активных веществ, распределяемых в смеси. Кроме того, эти добавки предохраняют цементы от быстрой потери активности при перевозке или хранении. В качестве гидрофобизующих добавок раньше применялись в основном природные продукты — некоторые животные жиры, алейновая и стеариновая кислоты. Развитие химической промышленности дало возможность широко использовать новые гидрофобизующие добавки — битумные дисперсии (эмульсии и эмульсосуспензии), нафтеновые кислоты и их соли, окисленные, синтетические жирные кислоты и их кубовые остатки, кремнийорганические полимеры и др.

Воздухововлекающие добавки позволяют получать бетонные (растворные) смеси с некоторым дополнительным количеством воздуха. Чтобы повысить пластичность смеси, обычно увеличивают объем вяжущего теста. Вовлекая воздух, увеличивается объем вяжущего теста без введения лишнего цемента. Поэтому удобоукладываемость такой системы повышается. К тому же воздухововлекающие добавки образуют и ориентированные слои, активные в смазочном отношении. Широко применяют воздухововлекающие добавки на основе смоляных кислот: смолу нейтрализованную воздухововлекающую (СНВ), омыленный древесный пек и др.

К ускорителям твердения цемента, увеличивающим нарастание прочности бетона, особенно в ранние сроки, относятся хлорид кальция, сульфат натрия, нитрит-нитрат-хлорид кальция и др.

Влияние хлористого кальция на повышение прочности бетона объясняется его каталитическим воздействием на гидратацию C_3S и C_2S , а также реакцией с C_3A и C_4AF . Ускорители твердения не рекомендуются применять в железобетонных конструкциях и предварительно напряженных изделиях с диаметром арматуры менее 5 мм и для изделий автоклавного твердения, эксплуатирующихся в среде с влажностью более 60%. Сульфат натрия может вызвать появление высолов на изделиях.

В нитрит-нитрат-хлориде кальция ускоряющее действие хлорида сочетается с ингибирующим действием нитрата кальция.

Противоморозные добавки — поташ, хлорид натрия, хлорид кальция и др. — понижают точку замерзания воды, чем способствуют твердению бетона при отрицательных температурах.

Для замедления схватывания применяют сахарную патоку и добавки СДБ, ГКЖ-10 и ГКЖ-94.

Пено- и газообразователи применяют для изготовления ячеистых бетонов. К пенообразователям относятся клееканифольные, смолосапониновые, алюмосульфонафтенные добавки, а также пенообразователь ГК. В качестве газообразователей применяют алюминиевую пудру ПАК-3 и ПАК-4.

Комбинированные добавки, например пластификатор СДБ, ускоритель твердения (хлористый кальций) с ингибитором (нитратом натрия), способствуют экономии цемента. При этом ускоритель твердения нейтрализует некоторое замедление твердения смеси в раннем возрасте.

Специальные добавки обеспечивают получение водонепроницаемых растворов или бетонов, регулируют сроки схватывания и др.

● Песок — рыхлая смесь зерен крупностью 0,16...5 мм, образовавшаяся в результате естественного разрушения массивных горных пород (природные пески). Природные пески по минералогическому составу подразделяются на кварцевые, полевошпатовые, известняковые, доломитовые. Из природных песков наибольшее применение для тяжелого бетона получили кварцевые пески.

В качестве мелкого заполнителя применяют пески повышенной крупности, крупные, средние и мелкие — природные и обогащенные; пески из отсеивов дробления и обогащенные из отсеивов дробления.

На качество бетона большое влияние оказывают зерновой состав песка и содержание в нем различных примесей: пылевидных, илистых, глинистых частиц, петрографический состав, в том числе содержание вредных примесей, включая органические. Содержание этих примесей устанавливают отмучиванием. Количество их не должно превышать 3% в природном песке и из отсеивов. Наиболее вредной в песке является примесь глины, которая обволакивает отдельные зерна песка и препятствует сцеплению их с цементным камнем, понижая прочность бетона. Глинистые и пылевидные примеси в песке повышают водопотребность бетонных смесей и приводят к понижению прочности и морозо-

стойкости бетона. Очищать песок от глинистых и пылевидных частиц можно промывая его водой в пескомойках. В природных песках могут содержаться также в большом количестве органические примеси (гуминовые кислоты, остатки растений, перегной), которые вступают в реакцию с твердеющим цементом и понижают прочность бетона. Содержание органических примесей устанавливают колориметрическим методом — обработкой пробы песка 3%-ным раствором едкого натра. Если после обработки песка цвет раствора не оказывается темнее эталона (цвета крепкого чая), то песок признается доброкачественным.

Испытуемый песок можно считать пригодным, если прочность образцов раствора из него оказывается не меньше прочности образцов с тем же песком, но промытым сначала известковым молоком, а затем водой.

Зерновой состав песка имеет особое значение для получения качественного бетона. Песок для бетона должен состоять из зерен различной величины (0,16...5 мм), чтобы объем пустот в нем был минимальным; чем меньше объем пустот в песке, тем меньше требуется цемента для получения плотного бетона. Зерновой состав песка определяют просеиванием сухого песка через стандартный набор сит с размерами отверстий (сверху вниз) 10; 5; 2,5; 0,63; 0,315; 0,16 мм. Высушенную до постоянной массы пробу песка просеивают сквозь сита с круглыми отверстиями диаметром 10 и 5 мм. Остатки на этих ситах взвешивают и вычисляют с точностью до 0,1%.

Из пробы песка, прошедшего сквозь указанные выше сита, отвешивают 1000 г (G) песка и просеивают его последовательно сквозь набор сит с отверстиями размером 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм. Остатки на каждом сите взвешивают (G_i) и вычисляют:

частный остаток на каждом сите — как отношение массы остатка на данном сите к массе просеиваемой навески (a_i) — вычисляют с точностью до 0,1%:

$$a_i = (G_i/G)100,$$

полный остаток (A_i) на каждом сите — как сумму частных остатков на всех ситах с большим размером отверстий плюс остаток на данном сите — вычисляют с точностью до 0,1%:

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i,$$

где $a_{2,5}$, $a_{1,25}$, ... — частные остатки на ситах с большим размером отверстий начиная с сита размером отверстий 2,5 мм, %; a_i — частный остаток на данном сите, %.

Модуль крупности песка M_k (без фракций гравия с размером зерен крупнее 5 мм) определяют как частное от деления на 100 суммы полных остатков на всех ситах, начиная с сита с размером отверстий 2,5 мм и кончая ситом с размером отверстий 0,16 мм;

модуль крупности песка вычисляют с точностью до 0,1%:

$$M_k = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16})/100.$$

По величине модуля крупности песок делят на повышенной крупности $M_k = 3...3,5$, крупный с $M_k > 2,5$, средний $M_k = 2,5...2,0$, мелкий $M_k = 2,0...1,5$ и очень мелкий $M_k = 1,5...1,0$; полные остатки на сите № 063 (% по массе) соответственно равны: 65...75, 45...65, 30...45, 10...30 и менее 10.

Выбор мелких заполнителей для бетона производят по зерновому составу и модулю крупности, содержанию пылевидных и глинистых частиц, петрографическому составу, в том числе содержанию вредных примесей, включая органические примеси и потенциально реакционноспособные породы и минералы, а при применении дробленых песков — по пределу прочности исходной породы при сжатии в насыщенном водой состоянии.

Зерновой состав мелкого заполнителя должен соответствовать указанному и на графике (рис. 6.1). При этом учитывают только зерна, проходящие через сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм.

Песок, отсеянный на ситах двух близких номеров, имеет большую пустотность (40...42%). При наилучшем сочетании в песке крупных, средних и мелких зерен пустотность уменьшается до 30%. Хорошим по крупности зерен считается песок, у которого пустотность не превышает 38%.

Пески с модулем крупности 1,5...2 допускается применять в бетонах класса В15, а также для бетонов подводной зоны конструкций мостов. Использование этих песков в бетонах класса В15 и выше допускается при соответствующем технико-экономическом обосновании. Пески с модулем крупности 2,5 и более рекомендуется применять для бетонов класса В25 и выше.

Для обеспечения качественного зернового состава песка и его постоянства в составе бетонной смеси применяют фракцио-

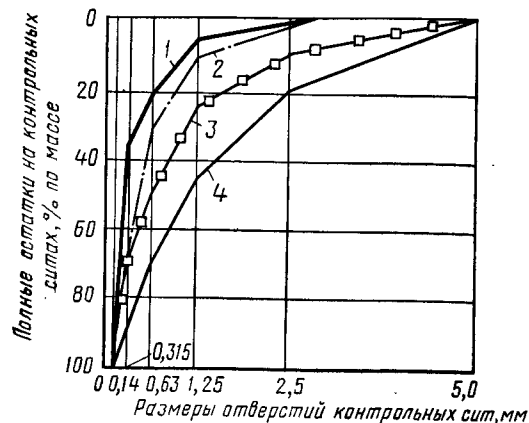


Рис. 6.1. График зернового состава песка:

1 — допустимая нижняя граница крупности песка (модуль крупности 1,5); 2 — рекомендуемая нижняя граница крупности песка (модуль крупности 2,0) для бетонов прочностью 20 МПа и выше, а также для бетонов безнапорных бетонных и железобетонных труб; 3 — рекомендуемая нижняя граница крупности песка (модуль крупности 2,5) для бетонов прочностью 35 МПа и выше, а также для бетонов напорных и низконапорных железобетонных труб; 4 — допустимая верхняя граница крупности песков (модуль крупности 3,25)

нированный песок, составленный из двух фракций: крупной и мелкой, отдельно дозируемых при приготовлении бетонной смеси. Разделение исходного песка на две фракции производят по граничному зерну, соответствующему размеру отверстий контрольных сит 1,25 или 0,63 мм. Допускается применять готовые смеси фракций в требуемом соотношении, а также смеси песков природных или из отсевов дробления.

Зерновой состав мелкого заполнителя

Размер отверстия контрольного сита, мм:	Полные остатки на контрольных ситах, %:
2,5	0...20
1,25	5...45
0,63	20...70
0,315	35...90
0,16	90...100
Проход через сито № 016	10...0
Модуль крупности	1,5...3,25

При несоответствии зернового состава природных песков требованиям ГОСТа следует применять в качестве укрупняющей добавки к мелким пескам крупные фракции природного или дробленого песка, а также крупный песок из отсевов дробления, а для понижения модуля крупности — мелкие пески.

Использование в качестве мелких заполнителей песков из отсевов дробления и их смесей с природными песками допускается при условии обеспечения заданной удобоукладываемости бетонной смеси без перерасхода цемента. В природном песке, предназначенном для бетонов, допускаются зерна гравия или щебня размером более 10 мм — до 0,5% по массе; размером 5...10 мм — до 10% по массе.

Насыпная плотность кварцевого песка зависит от степени уплотнения, влажности и пустотности. Сухой и рыхло насыпанный кварцевый песок имеет насыпную плотность 1500...1600 кг/м³. На рис. 6.2 приведены кривые изменения объема разных песков в зависимости от их влажности. Наименьшая насыпная плотность кварцевых песков соответствует влажности 5...7%. При дозировке песка для изготовления бетона или приемке песка необходимо учитывать содержание в нем воды.

● В качестве крупного заполнителя для тяжелого бетона

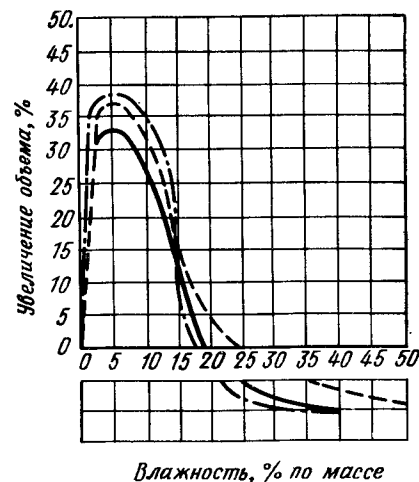


Рис. 6.2. Изменение объема песка в зависимости от влажности

применяют гравий и щебень из горных пород или щебень из гравия размером зерен 5...70 мм.

Гравий — зерна окатанной формы и гладкой поверхности размером 5...70 мм, образовавшиеся в результате естественного разрушения горных пород. Качество гравия характеризуется: зерновым составом и формой зерна, прочностью, содержанием зерен слабых пород, наличием пылевидных и глинистых примесей, петрографической характеристикой, плотностью, пористостью, пустотностью и водопоглощением. Для бетона наиболее пригодна малоокатанная (щебневидная) форма зерен, хуже яйцевидная (окатанная), еще хуже пластинчатая и игловатая, понижающие прочность бетона.

Часто гравий залегает вместе с песком. При содержании в гравии песка 25...40% материал называют песчано-гравийной смесью. Гравий, подобно песку, может содержать вредные примеси пыли, ила, глины, органических кислот. Количество в гравии глинистых, илистых и пылевидных примесей, определяемых отмучиванием, не должно превышать 1% по массе.

Оценку прочности гравия производят испытанием на дробимость в цилиндре. Последняя определяется путем раздавливания пробы гравия в цилиндре статической нагрузкой. После этого пробу просеивают через сито с размером отверстия, соответствующим наименьшему размеру зерна в исходной пробе гравия, и устанавливают величину потери в массе. В зависимости от этой величины гравий делят на марки: Др8 (при потере в массе до 8%), Др12 (свыше 8 до 12%), Др16 (свыше 12 до 16%) и Др24 (свыше 16 до 24%).

Для конструкции промышленных и гражданских зданий прочность зерен гравия должна быть более чем в 1,5...2 раза выше прочности бетона. Гравий для бетона должен характеризоваться также петрографическим составом с указанием количества в нем зерен слабых пород, а также механической прочностью на износ. Износ гравия определяют в полочном барабане. При этом необходимо знать сопротивляемость каменного материала скалыванию кромок, удару и истиранию при падении и изнашивании, при трении зерен гравия друг о друга или при ударе падающих с полки шаров. Показателем износа считают потерю (%) гравия в массе от первоначальной массы. По износу гравий делят на четыре марки: И-I, И-II, И-III и И-IV.

Гравий, предназначенный для бетонных конструкций, подвергающихся действию воды и низких температур, должен обладать определенной степенью морозостойкости. По степени морозостойкости гравий делят на марки F 15, 25, 50, 100, 150, 200 и 300. Морозостойкость гравия определяют непосредственным замораживанием или испытанием в растворе сернокислого натрия. Гравий считают морозостойким, если в насыщенном водой состоянии он выдерживает без разрушения многократные (15 циклов и более) попеременные замораживание при температуре -17°C и оттаивание. При этом потеря в массе после испытания составляет

не более 5%. Для марок F 15 и 25 допускается потеря массы до 10%.

Морозостойкость гравия можно определить не только непосредственным замораживанием и оттаиванием, но и ускоренным испытанием раствора сернокислого натрия. Сущность этого метода заключается в том, что в место замораживания образцы погружают в насыщенный раствор сернокислого натрия и затем высушивают при температуре 105...110 $^{\circ}\text{C}$. Кристаллы сульфата натрия, образующиеся при этом в порах материала, давят на стенки пор сильнее, чем частицы льда. При испытании сернокислым натрием число циклов меньше, чем при замораживании: один цикл в растворе сернокислого натрия приравнивают к 5...10 циклам испытания замораживанием в зависимости от степени морозостойкости гравия. В случае получения неудовлетворительных результатов при испытании сернокислым натрием производят испытание непосредственным замораживанием, результаты этого испытания являются окончательными.

Наиболее экономично для приготовления бетона применять крупный гравий, так как благодаря меньшей его суммарной поверхности требуется меньше цемента для получения прочного бетона. Допустимая крупность зерен гравия зависит от размеров бетонируемой конструкции. Для хорошей укладки бетонной смеси гравий должен применяться не крупнее $\frac{1}{2}$ минимального размера сечения конструкции и не больше $\frac{3}{4}$ наименьшего расстояния между стержнями арматуры.

Для бетонирования массивных гидротехнических сооружений применяют гравий крупностью зерен более 70 мм.

Хорошим зерновым составом гравия считается тот, в котором имеются зерна разной величины, что создает наименьшую пустотность. Зерновой состав гравия определяется просеиванием 10 кг сухой пробы через стандартный набор сит с размерами отверстий 70, 40, 20, 10 и 5 мм. Зерновой состав каждой фракции или смеси нескольких фракций гравия должен находиться в пределах, указанных на графике рис. 6.3. За наибольшую крупность зерен гравия $D_{\text{наиб}}$ принимают размер отверстий сита, на котором полный остаток не превышает 10% навески, и за наименьшую крупность гравия $D_{\text{наим}}$ — размеры отверстия одного из верхних сит, через которое проходит не более 5% просеиваемой пробы. Ниже приведены значения полных остатков на контрольных ситах при расसेве гравия (щебня) фракций от 5 (3) до 10 мм, свыше 10 до 20; свыше 20 до 40 и свыше 40 до 70 мм.

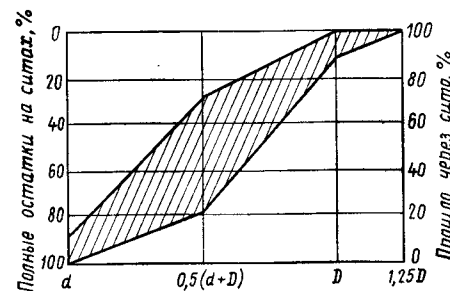


Рис. 6.3. График зернового состава гравия (щебня)

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	d	$0,5(d + D)$	D	$1,25D$
Полный остаток на ситах, % по массе	90...100	30...80	до 10	до 0,5

При рассеве гравия (щебня) смеси фракций от 5 (3) до 20 мм полные остатки на контрольных ситах должны соответствовать указанным далее:

Диаметр контрольных сит, мм	5(3)	10	20	25
Полные остатки на ситах, % по массе	95...100	55...75	до 10	до 0,5

Щебень получают путем дробления массивных горных пород, гравия, валунов или искусственных камней на куски размером 5...120 мм. Для приготовления бетона обычно используют щебень, полученный дроблением плотных горных пород, гравия, доменных и мартеновских шлаков. Дробление производят в камнедробилках. При этом получают не только зерна щебня, но и мелкие фракции, относящиеся по крупности к песку и пыли. Зерна щебня имеют неправильную форму. Лучшей считается форма, приближающаяся к кубу и тетраэдру. Вследствие шероховатой поверхности зерна щебня лучше сцепляются с цементным камнем в бетоне, чем гравий, но бетонная смесь со щебнем менее подвижна.

По дробимости, морозостойкости, зерновому составу, износу к щебню предъявляют такие же требования, как и гравию.

Прочность щебня характеризуется маркой, соответствующей пределу прочности горной породы при сжатии в водонасыщенном состоянии и определяемой по дробимости щебня при сжатии (раздавливании) в цилиндре. Щебень имеет следующие марки: 200, 300, 400, 600, 1000, 1200, 1400. При этом щебень высшей категории качества из изверженных и метаморфических горных пород должен иметь марку не ниже М800, из осадочных карбонатных пород — не ниже М600. Щебень марок по прочности 1400, 1200 и 1000 не должен содержать зерен слабых пород более 5 % по массе, а марок 800, 600 и 400 — не более 10 % и 300 и 200 — не более 15 % по массе. По прочности исходной горной породы марка щебня при сжатии в насыщенном водой состоянии должна быть выше марки бетона в 1,5...2 раза. В отдельных случаях допускается применение щебня марки ниже указанной, но только при условии испытания в бетоне и при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Зерновой состав щебня устанавливают с учетом $D_{\text{наим}}$ и $D_{\text{наиб}}$ зерен. Наибольший размер зерен щебня применяют в бетонах в зависимости от вида изделия, насыщенности арматуры и толщины изделия. Так, для балок, колонн, рам наибольший размер зерен должен быть не более $\frac{3}{4}$ наименьшего расстояния между стержнями арматуры, а для плитных изделий — не более $\frac{1}{2}$ толщины плиты. Подобно гравию, щебень по крупности зерен делят на четыре фракции: 5...10, 10...20, 20...40 и 40...70 мм.

В зависимости от формы зерен ГОСТ 8267—82 устанавливает три группы щебня из естественного камня: кубовидную, улучшенную и обычную. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в них не превышает соответственно 15, 25 и 35 % по массе. К пластинчатой и игловатой форме зерен относят такие, в которых толщина или ширина их меньше длины в 3 раза и более.

Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне из изверженных и метаморфических пород, в щебне из гравия и в гравии для всех видов тяжелого бетона не должно превышать 1 % по массе, а в щебне из осадочных пород в зависимости от вида конструкции и ее назначения — не более 2...3 %, в том числе глины в комках — не более 0,25 %.

Щебень, гравий и щебень из гравия должны применяться, как правило, в виде фракций, отдельно дозируемых при приготовлении бетонной смеси.

Применяемые фракции в зависимости от наибольшей крупности зерен заполнителя указаны ниже:

Наибольшая крупность зерен, мм	10	20	40	70	120
Фракция крупного заполнителя, мм	5...10 или 3...10	5(3)...10 10...20	5(3)...10 10...20 20...40	5(3)...10 10...20 20...40 40...70	5(3)...10 10...20 20...40 40...70 70...120

Содержание различных фракций в крупном заполнителе при подборе состава бетона должно соответствовать указанному в табл. 6. 1 и обеспечивать получение плотной смеси.

В качестве крупного заполнителя для всех видов тяжелого бетона сборных и монолитных конструкций, изделий и деталей должны использоваться щебень и щебень из гравия с содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в количестве не более 35 % по массе.

Морозостойкость крупных заполнителей должна обеспечить получение бетона требуемой марки по морозостойкости. Для бе-

Таблица 6.1. Зерновой состав, %, крупного заполнителя

Наибольшая крупность заполнителя, мм	Размер фракций, мм				
	5...10	10...20	20...40	40...70	70...120
20	25...40	60...75	—	—	—
40	15...25	20...35	40...65	—	—
70	10...20	15...25	20...35	35...55	—
120	5...10	10...20	15...25	20...30	30...40

тона гидротехнических сооружений морозостойкость щебня гравия указана ниже:

Среднемесячная температура наиболее холодного месяца	От 0 до — 10°C	От — 10 до — 20°C	Ниже — 20°C
Марка по морозостойкости	100	200	300

Щебень высшей категории качества для бетона должен иметь марку по морозостойкости не ниже F 25.

Шлаковый щебень получают дроблением шлака, который образуется в процессе доменной плавки металлов (доменный шлак) или при сжигании минерального топлива (топливный шлак). Шлаки должны обладать кристаллической структурой и не иметь признаков распада. Шлаковый распад является результатом перехода одних соединений шлака в другие под действием газов, содержащихся в воздухе, и влаги. Этот переход сопровождается увеличением объема образующихся новых соединений, что вызывает растрескивание и распад кусков шлака.

В зависимости от крупности зерен щебень для бетона из доменного шлака выпускают тех же фракций, что и щебень из горных пород: 5...10; 10...20; 20...40 и 40...70 мм. Содержание зерен пластинчатой и игольчатой формы не допускается более 25% по массе.

Прочность щебня характеризуется маркой, определяемой по его дробимости при сжатии (раздавливании) в цилиндре в сухом состоянии. Марка шлакового щебня по прочности бывает Др15, 25, 35, и 45. Для приготовления бетона используют щебень с плотностью не менее 1000 кг/м³, содержание пылевидных частиц для щебня марок Др15 и 25 допускается не более 2% по массе, а для щебня марок Др35 и Др45 — 3% по массе.

По морозостойкости щебень подразделяется на шесть марок от F15 до F200. Щебень марки Др15 используют для бетонов высокой прочности (40 МПа и выше), а щебень марок Др25 и менее используется для бетона прочности 30 МПа и менее.

Шлаковый щебень используют в бетонных и железобетонных

сооружениях гражданских и промышленных зданий, не рекомендуется его применение в конструкциях, эксплуатирующихся в проточных водах.

§ 6.3. Свойства бетонной смеси и бетона

Тяжелый бетон должен приобрести проектную прочность к определенному сроку и обладать другими качествами, соответствующими назначению изготавливаемой конструкции (водостойкостью, морозостойкостью, плотностью и т.д.). Кроме того, требуется определенная степень подвижности бетонной смеси, которая соответствовала бы принятым способам укладки ее.

● Бетонная смесь представляет собой сложную многокомпонентную систему, состоящую из новообразований, образовавшихся при взаимодействии вяжущего с водой, непрореагированных частиц клинкера, заполнителя, воды, вводимых специальных добавок и вовлеченного воздуха. Ввиду наличия сил взаимодействия между дисперсными частицами твердой фазы и воды эта система приобретает связанность и может рассматриваться как единое физическое тело с определенными реологическими, физическими и механическими свойствами.

Определяющее влияние на эти свойства будут оказывать количество и качество цементного теста, которое, являясь дисперсной системой, имеет высокоразвитую поверхность раздела твердой и жидкой фаз, что способствует развитию сил молекулярного сцепления и повышению связанности системы.

В процессе гидратации цемента количество гелеобразных новообразований растет, увеличивается дисперсность твердой фазы, повышается клеящая способность цементного теста и его связующая роль в бетонной смеси.

Цементное тесто относят к так называемым структурированным системам, которые характеризуются некоторой начальной прочностью. Определенная структура цементного теста создается за счет действия сил молекулярного сцепления между частицами, окаймленными тонкими пленками воды. Пленки жидкой фазы в структуре цементного теста придают ему свойство пластичности. Структурная вязкость цементного теста зависит от концентрации твердой фазы в водной суспензии. Поведение структурированных систем при приложении внешних сил в отличие от жидких тел резко меняется.

В зависимости от значения действующих внешних сил вязкость структурированных систем изменяется, часто на 2...3 порядка даже при постоянной температуре.

Способность структурированных систем изменять свои реологические свойства под действием внешних сил и восстанавливать их после прекращения воздействия называется тиксотропией. Это свойство широко используют в технологии бетона, например для формования изделий из жестких смесей путем вибрации. Для получения изделий высокого качества необходимо, чтобы

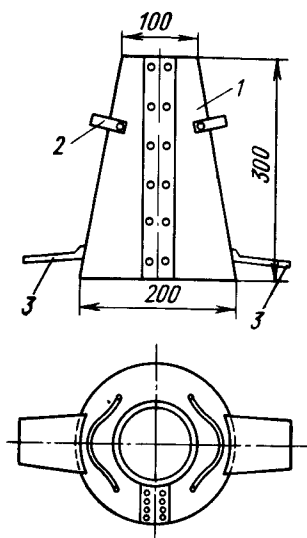


Рис. 6.4. Стандартный конус для определения подвижности бетонной смеси:

1 — конус; 2 — ручки; 3 — упоры

бетонная смесь имела консистенцию, соответствующую методам ее укладки и уплотнения. Консистенцию бетонной смеси оценивают показателями ее подвижности или жесткости.

Подвижность бетонной смеси — способность ее растекаться под собственной массой. Для определения подвижности используют конус (рис. 6.4), который послойно в три приема заполняют бетонной смесью, уплотняя ее штыкованием. После уплотнения последнюю форму снимают. Образовавшийся при этом конус бетонной смеси под действием собственной массы оседает. Величина осадки конуса (см) служит оценкой подвижности бетонной смеси. По этому показателю различают смеси подвижные (пластичные) с осадкой конуса 1...12 см и более и жесткие, которые практически не дают осадки конуса, однако при воздействии вибрации последние обладают различными формовочными свойствами. Для оценки жесткости этих смесей используют свои методы.

Показатель жесткости бетонной смеси определяют на специальном приборе (рис. 6.5), который состоит из цилиндрического сосуда с внутренним диаметром 240 мм и высотой 200 мм с закрепленным на нем устройством для измерения осадки бетонной

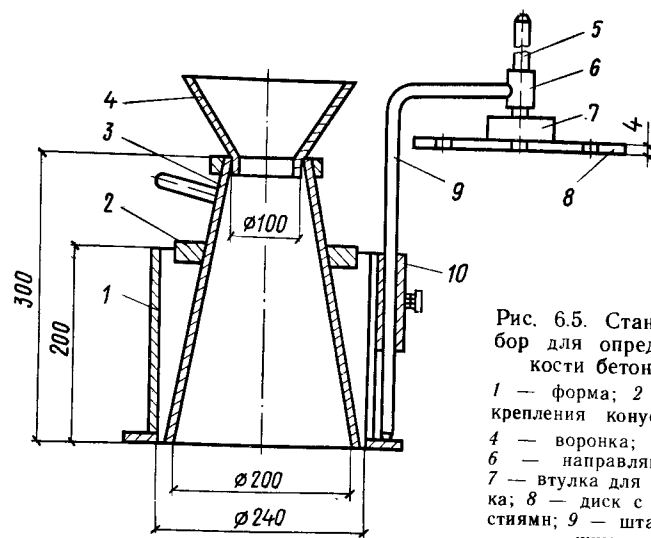


Рис. 6.5. Стандартный прибор для определения жесткости бетонной смеси:

1 — форма; 2 — упоры для крепления конуса; 3 — конус; 4 — воронка; 5 — штанга; 6 — направляющая втулка; 7 — втулка для крепления диска; 8 — диск с шестью отверстиями; 9 — штатив; 10 — зажим штатива

смеси в виде направляющего штатива, штанги и металлического диска и шестью отверстиями. Прибор устанавливают на виброплощадку и плотно к ней прикрепляют. Затем в сосуд помещают металлическую форму-конус с насадкой, который с помощью специального кольца-держателя закрепляют в приборе и заполняют тремя слоями бетонной смеси. Затем удаляют форму-конус, поворачивая штатив, устанавливают на поверхности бетонной смеси диск и включают виброплощадку. Вибрирование с амплитудой 0,5 мм продолжают до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из двух отверстий диска. Время вибрирования (с) и определяет жесткость бетонной смеси. Классификация бетонных смесей по степени их жесткости (удобоукладываемости) приведена в табл. 6.2.

Таблица 6.2. Классификация бетонных смесей

Смесь	Подвижность, см	Жесткость, с
Особожесткая	0	Более 30
Жесткая	0	5...30
Малоподвижная	1...4	—
Подвижная	4...15	—
Литая	Более 15	—

На подвижность бетонной смеси влияет ряд факторов: вид цемента, содержание воды и цементного теста, крупность заполнителей, форма зерен, содержание песка. Бетонные смеси одного и того же состава, но на разных цементах обладают разной водопотребностью. Чем она выше, тем меньше подвижность или больше жесткость смеси. Бетонные смеси на портландцементе с гидравлическими добавками имеют подвижность меньшую, чем смеси на портландцементе при одном и том же количестве воды, взятой для приготовления смеси.

С увеличением содержания воды при неизменном расходе цемента подвижность бетонной смеси возрастает, но прочность бетона уменьшается. С увеличением содержания цементного теста подвижность бетонной смеси также повышается при сохранении практически той же прочности после затвердевания. Это объясняется тем, что при более высоком содержании цементного теста оно не только заполняет пустоты и обволакивает зерна заполнителей, но и раздвигает их, создавая между ними обильные прослойки, уменьшающие трение между зернами, а это повышает подвижность смеси.

При более крупных заполнителях суммарная поверхность зерен получается меньше; следовательно, при том же количестве цементного теста прослойки его между зернами заполнителей оказываются толще, что увеличивает подвижность бетонной смеси. Увеличение количества песка сверх оптимального, установ-

ленного опытом, уменьшает подвижность бетонной смеси вследствие возрастания суммарной поверхности заполнителей.

Форма зерен влияет на подвижность смеси — при округлой и гладкой поверхности зерен заполнителей суммарная поверхность их и трение между ними меньше, чем при острогранной форме и шероховатой поверхности. Поэтому бетонная смесь с гравием и окатым песком подвижнее, чем смесь с щебнем и горным песком.

Наиболее экономичными являются жесткие бетонные смеси, так как они требуют меньшего расхода цемента, чем подвижные. Подвижность бетонной смеси следует выбирать более низкую, но в то же время она должна обеспечивать удобную и качественную укладку смеси. При выборе подвижности бетонной смеси учитывают размеры конструкции, простоту армирования и способы укладки и уплотнения смеси (табл. 6.3).

Таблица 6.3. Требования к подвижности и удобоукладываемости бетонной смеси

Тип конструкций и способ уплотнения бетонной смеси	Жесткость, с	Подвижность, см
Сборные железобетонные с немедленной распалубкой, формируемые на виброплощадках	10...30	—
Перекрытия и стеновые панели, формируемые на виброплощадках	5...10	1...4
Железобетонные плиты, балки, колонны, изготавливаемые с применением наружного или внутреннего вибрирования	2...5	4...8
Железобетонные изделия, формируемые в каскадах	—	4...12
Монолитные густоармированные железобетонные конструкции (бункера, силосы и др.)	—	10...18

Введение в бетонную смесь ПАВ, например СДБ, повышает подвижность бетонной смеси и уменьшает ее водопотребность. Положительное воздействие на подвижность смеси оказывают суперпластификаторы (С-3, 10-03, 40-03 и др.). Их эффективность выше в подвижных смесях, они позволяют снизить водопотребность смеси на 20...25%.

Вместе с тем следует учитывать, что подвижность смеси со временем уменьшается вследствие физико-химического взаимодействия цемента с водой.

● **Твердение бетона и формирование его структуры.** Структура бетона образуется в результате затвердевания бетонной смеси и его превращения в камень.

Уплотненная бетонная смесь в начальный период гидратации цемента сохраняет способность к пластическим деформациям. Со временем количество новообразований цементного камня увеличивается, система уплотняется и твердеет, образуется прочный камень определенной структуры. Время формирования струк-

туры и свойств бетона зависит от состава и применяемых материалов. На формирование структуры оказывают влияние вид цемента, химические добавки, В/Ц, температура бетонной смеси, влажность среды и др.

Введение в бетон пластифицирующих добавок, например СДБ, замедляет схватывание цемента в начальный период; повышение температуры ускоряет процесс схватывания и твердения.

Структура затвердевшего тяжелого бетона представляет собой цементный камень с размещенными в нем зернами заполнителя, с множеством пор и пустот разных размеров и происхождения.

Макроструктура бетона может быть представлена системой щебень — цементно-песчаный раствор.

Макроструктура представляет строение системы песок — цементный камень, микроструктура — тонкое строение цементного камня. Микроструктура цементного камня в бетоне состоит из новообразований, непрореагировавших зерен цемента и микропор. С увеличением возраста бетона микроструктура меняется в результате гидратации цемента и роста новообразований, пористость уменьшается, меняются распределение пор и их размеры, бетон становится плотнее и прочнее. Прочность бетона растет неравномерно, в первые 7 сут после затвердевания она нарастает быстро, а в дальнейшем замедляется. Скорость нарастания прочности бетона зависит от вида цемента.

В первые дни твердения прочность бетона на быстротвердеющих цементах выше, чем, например, на белитовых цементах.

Для твердения бетона необходима теплая и влажная среда. При повышенной температуре и влажной среде (в горячей воде с температурой 80 °С, во влажном паре с температурой до 100 °С или в автоклаве при температуре 175 °С и среде насыщенного водяного пара высокого давления) твердение протекает значительно быстрее, чем в нормальных условиях.

Твердение бетона при температуре ниже 15 °С замедляется, а при температуре ниже 0 °С практически прекращается. Изложенное выше имеет важное значение при изготовлении сборных железобетонных изделий на заводах, а также при бетонировании в зимнее время.

Кроме прогрева бетона паром или электрическим током для ускорения применяют химические добавки, например хлористый кальций и др.

Все вышеизложенное оказывает влияние на твердение бетона, формирование его структуры и, следовательно, свойств бетона.

● **Прочность бетона.** В конструкциях зданий и сооружений бетон может находиться в различных условиях работы, испытывая сжатие, растяжение, изгиб, скалывание. Прочность бетона при сжатии зависит от активности цемента, водоцементного отношения, качества заполнителей, степени уплотнения бетонной смеси и условий твердения. Основными факторами при этом оказываются активность цемента и водоцементное отношение. Це-

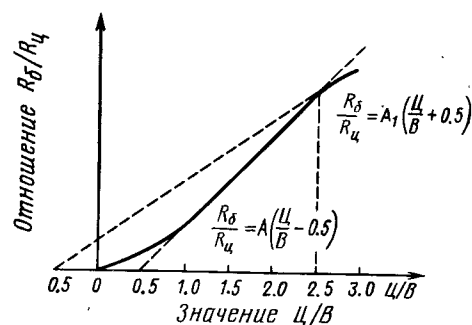


Рис. 6.6. График зависимости прочности бетона от цементно-водного отношения

$= 0,4 \dots 0,7$, в то время как для химического взаимодействия цемента с водой требуется не более 20% воды от массы цемента. Избыточная вода, не вступившая в химическое взаимодействие с цементом, испаряется из бетона, образуя в нем поры, что ведет к снижению плотности и соответственно прочности бетона. Исходя из этого, прочность бетона можно повысить путем уменьшения водоцементного отношения и усиленного уплотнения.

Всесторонние исследования советских ученых (Н. М. Беляева, Б. Г. Скрамтаева и др.) расширили и уточнили выводы И. Г. Малюги о влиянии различных факторов на свойства бетона и установили зависимости, графически изображенные на рис. 6.6 или представленные в виде следующих формул:

при $V/C > 0,4$ ($C/V \leq 2,5$) $R_6 = AR_u(C/V - 0,5)$;

при $V/C < 0,4$ ($C/V > 2,5$) $R_6 = A_1R_u(C/V + 0,5)$,

где R_6 — предел прочности бетона при сжатии в возрасте 28 сут нормального твердения, Па; R_u — активность цемента; C/V — цементно-водное отношение — отношение массы цемента к массе воды в единице объема бетонной смеси за вычетом воды, поглощаемой заполнителями; A, A_1 — безразмерные коэффициенты, зависящие от свойств и качества применяемых материалов (табл. 6.4).

Таблица 6.4. Значения коэффициентов A и A_1

Заполнители и вяжущие	A	A_1
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

К высококачественным материалам относятся щебень из плотных горных пород высокой прочности, песок оптимальной крупности (заполнители должны быть чистые, промытые, фракционированные, с оптимальным зерновым составом смеси фракций) и портландцемент высокой активности без добавок или с минимальным количеством гидравлической добавки. К рядовым

материалам относятся заполнители среднего качества, в том числе гравий, портландцемент средней активности или высокомарочный шлакопортландцемент. Материал пониженного качества — крупные заполнители низкой прочности и мелкие пески, отвечающие пониженным требованиям, и цементы низкой активности.

Приведенные выше зависимости прочности бетона от различных факторов, выраженные в виде формул и графиков, позволяют определить ориентировочную прочность бетона в 28-суточном возрасте при известном водоцементном отношении, марке цемента и виде заполнителя.

Наряду с активностью и качеством цемента, водоцементным отношением и качеством заполнителей на прочность бетона в значительной степени влияют степень уплотнения бетонной смеси, продолжительность и условия твердения бетона.

Прочность заполнителей не оказывает значительного влияния на прочность бетона до тех пор, пока она больше проектируемой марки бетона. Применение низкопрочных заполнителей с прочностью ниже требуемой марки бетона может существенно снизить прочность последнего или потребует высокого расхода цемента.

Шероховатость поверхности заполнителей также оказывает влияние на прочность бетона. В отличие от гравия зерна щебня имеют развитую шероховатую поверхность, чем обеспечивается лучшее сцепление с цементным камнем, а бетон, приготовленный на щебне при прочих равных условиях, имеет большую прочность, чем бетон на гравии.

На скорость твердения бетона влияют минералогический состав цемента (см. гл. 5) и начальное количество воды в бетонной смеси. Последнее определяет подвижность (или жесткость) ее. Жесткие бетонные смеси (с низким содержанием воды) обеспечивают более быстрое твердение бетона, чем подвижные.

Прочность тяжелого бетона в благоприятных условиях температуры и влажности непрерывно повышается. В первые 7...14 сут прочность бетона растет быстро, затем к 28 сут рост прочности замедляется и постепенно затухает; во влажной теплой среде прочность бетона может нарастать несколько лет. При нормальных условиях хранения средняя прочность бетонных образцов в 7-суточном возрасте составляет 60...70% прочности 28-суточных образцов, в 3-месячном возрасте — на 25%, а в 12-месячном — на 75% выше, чем у образцов в 28-суточном возрасте.

Прочность бетона со временем изменяется примерно по логарифмическому закону; исходя из этого при расчетах прочности бетона для разных сроков пользуются формулой

$$R_n = R_{28} \lg n / \lg 28,$$

где R_n — прочность бетона в возрасте суток, Па; R_{28} — прочность бетона в возрасте 28 сут, Па.

Эта формула применима для ориентировочных расчетов прочности бетона на портландцементных средних марках в возрасте более 3 сут. Действительную прочность бетона в конструкции устанавливают только испытанием контрольных образцов, приготовленных из рабочей бетонной смеси.

Большое влияние на рост прочности бетона оказывает среда. Нормальными условиями твердения бетона считаются относительная влажность воздуха 90...100% и температура $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Высокая влажность воздуха необходима, чтобы избежать испарения воды из бетона, что может привести к прекращению твердения. Твердение бетона ускоряется с повышением температуры и замедляется с ее понижением.

Качество бетона по прочности характеризуется его классом (маркой), который определяется величиной предела прочности при сжатии образцов-кубов с ребром 150 мм, изготовленных из рабочей бетонной смеси после твердения их в течение 28 сут в нормальных условиях (МПа). Тяжелые бетоны подразделяют на классы (марки) В7,5(100); В12,5(150); В15(200); В25(300); В30(400); В40(500); В45(600). Превышение класса (марки) бетона от заданной проектной прочности свыше 15% не допускается, так как это влечет перерасход цемента. При испытании образцов в виде кубов размером $150 \times 150 \times 150$ мм применяют щебень наибольшей крупности зерен 40 мм.

Класс (марка) бетона определяется также по пределу прочности на растяжение при изгибе образцов-балочек.

Качество бетона нельзя достаточно полно оценить по его средней прочности или марке. На практике имеет место отклонение от этой величины. Колебания в активности цемента, свойства заполнителей, дозировка материалов и другие факторы приводят к неоднородности структуры и к колебанию свойств бетона.

Более полное представление о качестве бетона можно получить при одновременном учете средней прочности бетона и его однородности, которая определяется на основе статистического анализа коэффициентом вариации v прочности. Он равен отношению среднего квадратического отклонения отдельных результатов испытаний прочности бетона к его средней прочности. Коэффициент вариации прочности бетона колеблется от 0,05 до 0,2. При хорошо налаженной технологии на предприятиях значение v не превышает 10%.

При проведении статистического контроля качества бетона, где его прочность определяется большим количеством испытаний, расчет конструкций может проводиться не по средней, а по гарантированной прочности бетона.

Для конструкций, проектируемых с учетом требований СТ СЭВ 1406—78 и СНиП 2.03.01—84, прочность бетона характеризуется классами. Класс бетона определяется величиной гарантированной прочности на сжатие с обеспеченностью 0,95.

При переходе от класса бетона В к средней прочности бетона

(МПа), контролируемой на производстве для образцов с ребром 150 мм (при нормативном коэффициенте вариации 13,5%), можно применять формулу $R_b^p = B/0,778$. Для класса В10 средняя прочность бетона будет $R_b^p = 12,9$ МПа, для класса В50 $R_b^p = 64,3$ МПа.

§ 6.4. Проектирование состава бетона

● Проектирование состава имеет цель установить такой расход материалов на 1 м^3 бетонной смеси, при котором наиболее экономично обеспечивается получение удобоукладываемой бетонной смеси и заданной прочности бетона, а в ряде случаев необходимой морозостойкости, водонепроницаемости и специальных свойств бетона.

Состав бетонной смеси выражают в виде соотношения по массе (реже по объему) между количествами цемента, песка и щебня (или гравия) с указанием водоцементного отношения. Количество цемента принимают за единицу. Поэтому в общем виде состав бетонной смеси выражают соотношением цемент:песок:щебень = 1: $x:y$ при $B/C = z$ (например, 1:2,4:4,5 при $B/C = 0,45$).

Различают два состава бетона: *номинальный* (лабораторный), принимаемый для материалов в сухом состоянии, и *производственный* (полевой) — для материалов с естественной влажностью.

К моменту расчета состава бетонной смеси нужно определить качество исходных материалов: цемента, воды, песка и щебня (гравия) — согласно требованиям ГОСТов.

Состав тяжелого бетона рассчитывают по методу «абсолютных объемов», разработанному проф. Б. Г. Скрамтаевым и его школой. В основу этого метода положено условие, что тяжелый бетон, уплотненный в свежем состоянии, приближается к абсолютной плотности, т.е. сумма абсолютных объемов исходных материалов в 1 м^3 равна объему уплотненной бетонной смеси.

Исходными данными для расчета состава бетона являются заданная прочность бетона R_b , характеристика бетонной смеси по степени подвижности или жесткости, а также характеристика исходных материалов — активность цемента R_u , плотности песка, щебня или гравия и пустотность щебня или гравия.

В зависимости от условий, в которых будет находиться бетон в сооружении или конструкции, к нему могут предъявляться также и другие требования, например степень морозостойкости, стойкость к воздействию агрессивных вод, водонепроницаемость. Высокая морозостойкость и непроницаемость плотного бетона регулируются B/C и расходом вяжущего, отсюда вытекает необходимость нормирования B/C в гидротехническом, дорожном и других специальных бетонах.

Состав бетонной смеси, т.е. количество цемента, воды, песка и щебня (гравия), вначале устанавливают ориентировочно мето-

дом расчета, а затем уточняют испытанием пробных замесов бетонной смеси.

Расчет состава бетона производят в следующем порядке: определяют цементно-водное отношение, обеспечивающее получение бетона заданной прочности и расход воды; рассчитывают потребный расход цемента, а затем щебня (или гравия) и песка; проверяют подвижность (жесткость) бетонной смеси при отклонениях этих показателей от проекта; производят корректирование состава бетонной смеси; готовят образцы для определения прочности и испытывают в заданные сроки; пересчитывают номинальный состав бетонной смеси на производственный.

● **Определение цементно-водного отношения** производят по следующим формулам:

для бетонов с $C/B \leq 2,5$

$$R_0 = A_{R_u}(C/B - 0,5), \text{ откуда } C/B = R_0/(A_{R_u}) + 0,5;$$

для бетонов $C/B > 2,5$

$$R_0 = A_1 R_u (C/B + 0,5), \text{ откуда } C/B = R_0/(A_1 R_u) - 0,5.$$

● **Определение расхода воды.** Оптимальное количество воды в бетонной смеси (водосодержание, л/м³) должно обеспечивать необходимую подвижность (или жесткость) бетонной смеси. Количество воды для затвердения 1 м³ бетонной смеси для всех расчетов в соответствии с ОНТП 07—85 принимается равным 200 л независимо от вида, жесткости и подвижности бетонных смесей.

● **Определение расхода цемента.** При определенном из формулы значении C/B и принятой водопотребности бетонной смеси B рассчитывают ориентировочный расход цемента, кг/м³ бетона:

$$C = (C/B) B.$$

Расход цемента на 1 м³ бетона должен быть не менее минимального. Если расход цемента на 1 м³ бетона окажется ниже допустимого, то необходимо довести его до нормы или ввести тонкомолотую добавку.

● **Определение расхода заполнителей (песка и щебня или гравия) на 1 м³ бетона.** Для определения расхода песка и щебня (гравия) задаются двумя условиями:

1) сумма абсолютных объемов всех составных частей бетона (л) равна 1 м³ (1000 л) уплотненной бетонной смеси:

$$C/\rho_u + B/\rho_v + П/\rho_n + Щ/\rho_{ш},$$

где $C, B, П, Щ$ — содержание цемента, воды, песка и щебня (гравия), кг/м³; $\rho_u, \rho_v, \rho_n, \rho_{ш}$ — плотности этих материалов, кг/м³;

2) цементно-песчаный раствор заполнит пустоты в крупном заполнителе с некоторой раздвижкой зерен:

$$\frac{C}{\rho_u} + \frac{П}{\rho_n} + B = V_{\text{пуст. ш (г)}} \frac{Щ (г)}{\rho_{ш (г)}} \alpha.$$

Решая эти два уравнения, находят формулу для определения потребности в щебне или гравии:

$$Щ (г) = \frac{1000}{V_{\text{пуст. ш (г)}} \alpha / \rho_{ш (г)} + 1/\rho_{ш (г)}},$$

где $V_{\text{пуст. ш (г)}}$ — пустотность щебня или гравия в стандартном состоянии (в формулу подставляется в виде относительной величины); α — коэффициент раздвижки зерен щебня (или избытка раствора); для жестких смесей $\alpha = 1,05 \dots 1,20$, для подвижных смесей $\alpha = 1,2 \dots 1,4$ и более; $\rho_{ш (г)}$ — насыпная плотность щебня (гравия), кг/л; $\rho_{ш (г)}$ — плотность щебня (гравия), кг/л.

Коэффициент α определяет отношение между песком и щебнем в бетоне.

После определения расхода щебня или гравия рассчитывают расход песка (кг/м³) как разность между проектным объемом бетонной смеси и суммой абсолютных объемов крупного заполнителя, цемента и воды:

$$П = [1000 - (C/\rho_u + B + Щ (г)/\rho_{ш (г)})] \rho_n.$$

Если гравий или щебень составляют из нескольких фракций, то необходимо заранее установить оптимальное соотношение между ними, пользуясь графиком наилучшего зернового состава или подбирая смесь с минимальным количеством пустот.

● **Проверка подвижности бетонной смеси.** После произведенного предварительного расчета состава бетона делают пробный замес и определяют осадку конуса или жесткость. Если бетонная смесь получилась менее подвижной, чем требуется, то увеличивают количество цемента и воды без изменения цементно-водного отношения. Если подвижность будет больше требуемой, то добавляют небольшими порциями песок и крупный заполнитель, сохраняя соотношения их постоянными. Таким путем добиваются заданной подвижности бетонной смеси.

● **Уточнение расчетного состава бетона на пробных замесах.** Производят опытные замесы бетона при трех значениях водоцементного отношения, из которых одно принимают расчетное, а два других больше или меньше на 10...20%. Количество цемента, воды, песка и щебня (гравия) для бетона с водоцементным отношением, не равным расчетному, определяют по вышеизложенному методу. Из каждой приготовленной смеси готовят по три образца куба размером 20×20×20 см, которые выдерживают в нормальных условиях и испытывают в возрасте 28 сут при определении класса бетона (или в другие сроки). По результатам испытаний строят график зависимости прочности бетона от водоцементного отношения, с помощью которого выбирают C/B , обеспечивающее получение бетона заданной прочности.

При пробных замесах проверяют также подвижность или жесткость бетонной смеси (она должна удовлетворять проектной), определяют ее плотность и по результатам испытания

пробных замесов вносят соответствующие коррективы в рассчитанный состав бетона. При изменении содержания песка и щебня (гравия) учитывают их влажность. Количество влажных заполнителей изменяется настолько, чтобы содержание в них сухого материала было равно расчетному, а количество вводимой в замес воды уменьшалось на величину, равную содержанию воды в заполнителях.

При перемешивании бетонной смеси мелкие зерна компонентов ее располагаются между более крупными, а пустоты в песке заполняются цементным тестом. Объем бетонной смеси V_0 поэтому будет всегда меньше, чем сумма насыпных объемов составляющих его сухих материалов. В связи с этим вводят понятие «коэффициент выхода бетона» β . Он равен отношению объема полученной смеси V_0 в уплотненном состоянии к сумме насыпных объемов сухих исходных компонентов:

$$\beta = V_0 / (V_{ц} + V_{п} + V_{ш(г)}).$$

Коэффициент выхода бетона является технико-экономической характеристикой качества заполнителей и бетона. Чем выше коэффициент выхода, тем экономичнее бетон. Обычно для крупнозернистых бетонов $\beta = 0,67...0,70$ и для мелкозернистых $\beta = 0,70...0,80$.

Пользуясь значением β , рассчитывают потребность (кг) материалов на замес бетоносмесителя определенной емкости V или для выполнения заданного объема строительно-монтажных работ:

$$Ц_v = \frac{\beta V}{1000} Ц; П_v = \frac{\beta V}{1000} П; В_v = \frac{\beta V}{1000} В; Ш_v = \frac{\beta V}{1000} Ш \text{ (г)},$$

где $Ц_v$, $В_v$, $П_v$, $Ш_v$ ($Г_v$) — соответственно количества цемента, воды, песка, щебня (гравия), требуемые на замес бетоносмесителя, кг; β — коэффициент выхода бетона; $Ц$, $В$, $П$, $Ш$ ($Г$) — расходы соответственно цемента, воды, песка и щебня (гравия), кг/м³ бетонной смеси.

§ 6.5. Приготовление и транспортирование бетонной смеси

● Приготовление бетонной смеси включает две основные технологические операции: дозировку исходных материалов и их перемешивание.

Важнейшим условием приготовления бетонной смеси с заданными показателями свойств, а также обеспечения постоянства этих показателей от замеса к замесу является точность дозировки составляющих материалов в соответствии с рабочим составом бетона. Дозирование материалов производят дозаторами (мерниками) периодического или непрерывного действия. Первые могут иметь ручное, полуавтоматическое или автоматическое управление. Наиболее совершенны автоматические доза-

торы по массе (рис. 6.7 и 6.8), обладающие высокой точностью дозирования, малой продолжительностью цикла взвешивания и легкостью управления.

У полуавтоматических дозаторов загрузочные затворы открываются и закрываются автоматически после наполнения мерника. Выгрузочное отверстие управляется вручную. Автоматические дозаторы управляются с центрального пульта. Отвешивание требуемого количества материала осуществляется автоматически в два этапа, сначала примерно на 90%, а затем остаточное довешивание. Управление автоматическими дозаторами может осуществляться также с помощью перфорированных карт, представляющих зашифрованный код, соответствующий заданному количеству дозируемых материалов. Эта

система позволяет дозировать неограниченное количество составов смеси и повторять заданный режим дозирования любое число раз. По существующим нормам, допускаемое отклонение в дозировании должно быть не более $\pm 1\%$ по массе для цемента и воды и не более $\pm 2\%$ для заполнителей. Такая точность может быть обеспечена только при дозировании по массе.

Перемешивание бетонной смеси производят в бетоносмесителях *периодического* и *непрерывного действия*. В бетоносмесителях периодического действия рабочие циклы машины протекают с перерывами, т. е. в них периодически загружаются отвешенные порции материалов, которые перемешиваются, а далее бетонная смесь выгружается (рис. 6.9). В бетоносмесителях непрерывного действия все три операции производят непрерывно (рис. 6.10).

По способу перемешивания материалов бетоносмесители бывают с *принудительным* и *гравитационным перемешиванием* (при свободном падении). В гравитационных бетоносмесителях перемешивание достигается вращением барабана, на внутренней

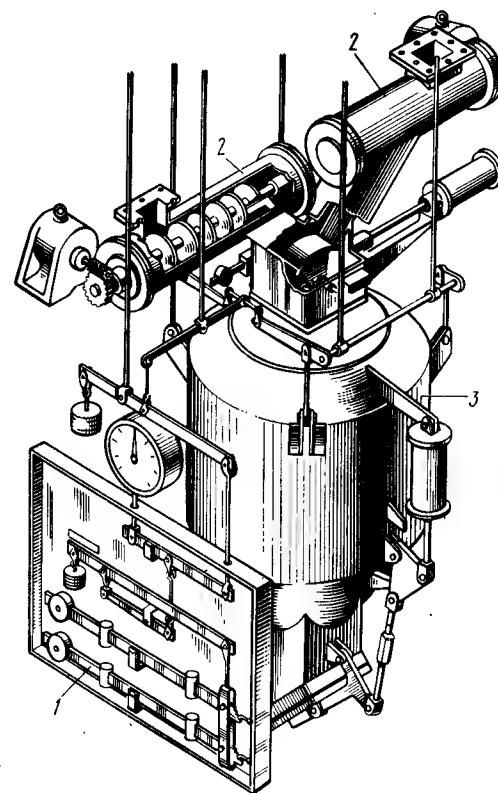


Рис. 6.7. Автоматический дозатор по массе для цемента:

1 — автоматические весы; 2 — шнек; 3 — бункер

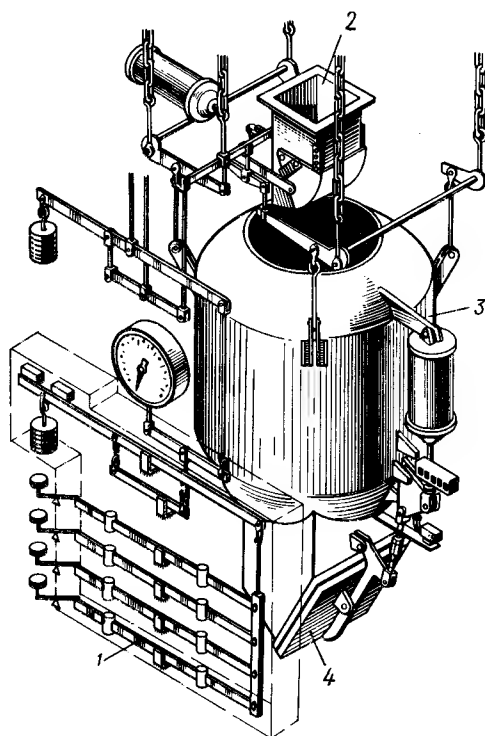


Рис. 6.8. Автоматический дозатор по массе для заполнителей:

1 — автоматические весы; 2 — бункер; 3 — приемная воронка; 4 — выпускной затвор днища

заполнителя и равномерное распределение раствора в массе крупного заполнителя. Продолжительность перемешивания бетонной смеси зависит от подвижности бетонной смеси и емкости бетоносмесителя. Чем меньше подвижность бетонной смеси и чем больше рабочая емкость бетоносмесителя, тем больше оптимальное время перемешивания. Так, для бетоносмесителя емкостью до 400 л она равна 1 мин, а емкостью 4500 л — около 3 мин. Время перемешивания жестких бетонных смесей увеличивают примерно в 2 раза по сравнению с временем перемешивания подвижных смесей.

На автоматизированных бетонных заводах применяют бетоносмесители непрерывного действия, в которых бетонная смесь принудительно перемешивается и одновременно перемещается от загрузочного отверстия к другому концу, где происходит ее выгрузка.

Для приготовления жестких и особо жестких бетонных смесей созданы так называемые *вибросмесители*, в которых перемешивание составляющих материалов осуществляется в сочетании

поверхности которого имеются лопасти. При вращении барабана лопасти захватывают составляющие бетонную смесь материалы, поднимают их на некоторую высоту, откуда смесь падает, перемещаясь при этом. Гравитационные бетоносмесители выпускают емкостью смесительного барабана 100, 250, 500, 750 и 1500 л. Емкость бетоно-смесителя определяется не выходом готового бетона, а суммой объемов загружаемых материалов (без воды). В бетоносмесителях принудительного перемешивания (рис. 6.11) материалы перемешиваются в неподвижном смесительном барабане с помощью вращающихся лопастей, насаженных на вал. Их применяют для приготовления жестких бетонных смесей. Перемешивание должно обеспечить сплошное обволакивание зерен

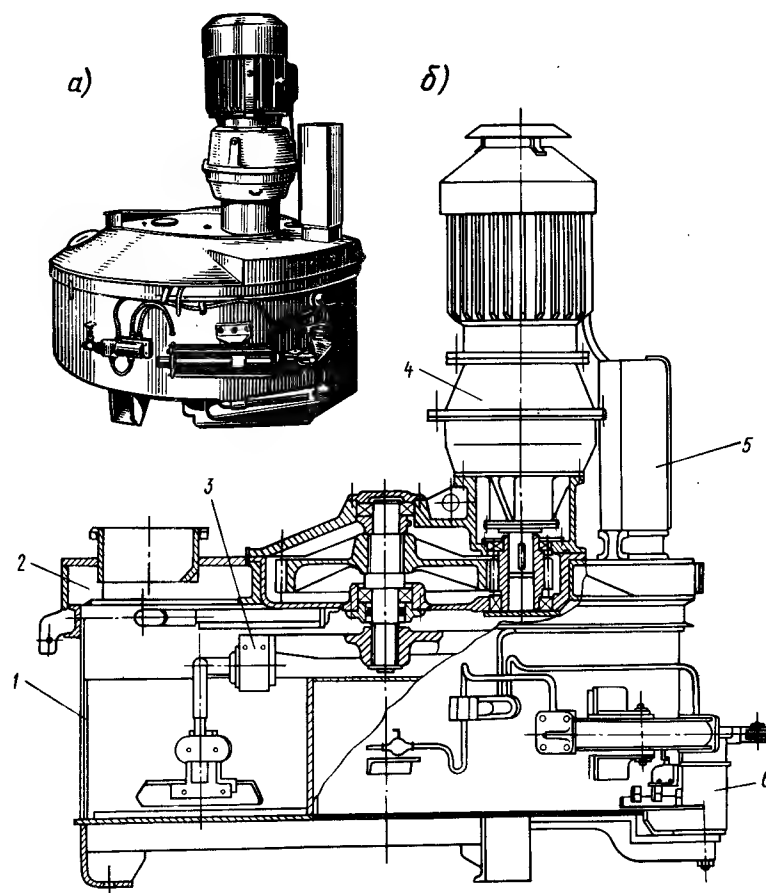


Рис. 6.9. Бетоносмеситель С-773а:

а — общий вид; б — конструктивная схема; 1 — чаша; 2 — рама; 3 — смесительное устройство; 4 — мотор-редуктор; 5 — электрооборудование; 6 — затвор

с вибрацией, а в некоторых конструкциях — только вибрацией. При соответствующем режиме вибрации, когда силы трения и сцепления между частицами смеси нарушены, а сила тяжести противодействует значительно превосходящее их давление возбуждения в смеси, последняя переходит во взвешенное состояние с высокой подвижностью, что способствует интенсивному перемешиванию смеси.

В настоящее время ведутся работы по *струйному перемешиванию* бетонной смеси, заключающемуся в интенсивном взаимодействии ее составляющих в турбулентных потоках псевдокипящего слоя, создаваемых энергосмесителями. К ним относятся сжатый воздух с давлением 0,3 МПа и перегретый пар с температурой 85...95 °С, подаваемые в специальный струйный смеситель.

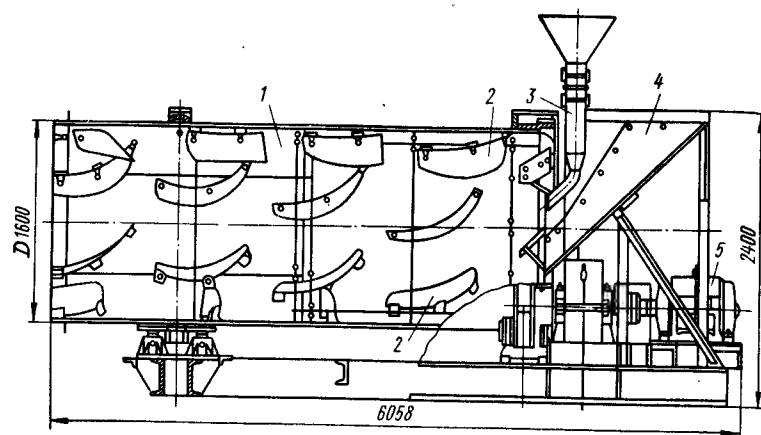


Рис. 6.10. Бетоносмеситель непрерывного действия СМ-314:

1 — смесительный барабан; 2 — лопасти; 3 — воронка для подачи воды; 4 — воронка для загрузки компонентов; 5 — электродвигатель с редуктором

В технологию приготовления бетонной смеси начинает внедряться перемешивание с нагреванием смеси. Суть этого метода состоит в том, что разогрев бетонной смеси до 60...65 °С производят паром, подаваемым в смеситель в процессе ее перемешивания. Такое нагревание происходит равномерно, проще и во много раз быстрее, чем при предварительном нагреве воды и заполнителей, а также электронагреве смеси.

Транспортирование бетонной смеси к месту укладки должно обеспечить сохранение ее однородности и степени подвижности. При длительной перевозке бетонная смесь загустевает вследствие гидратации цемента, поглощения воды заполнителями и испарения, однако подвижность смеси к моменту укладки ее должна быть не меньше проектной.

При выборе способа транспортирования необходимо учитывать дальность и скорость перевозки, подвижность смеси и экономичность способа. На заводах бетонные смеси транспортируют бетонораздатчиками, самоходными тележками, ленточными транспортерами; в цехах малой и средней мощности — электроферрами и электрокарами. Подвижные смеси можно транспортировать на большие расстояния по трубам с помощью пневматических установок. На строительных площадки, где ведутся бетонные работы, бетонную смесь доставляют в автобетоносмесителях, в которых бетонную смесь перемешивают примерно за 5 мин до прибытия на место.

Централизованное заводское изготовление бетонных смесей и их доставка на строительную площадку имеют большие технико-экономические преимущества, поскольку смеси готовятся на полностью механизированных и автоматизированных заводах и имеют высокое качество, снижая их стоимость, и отпадает не-

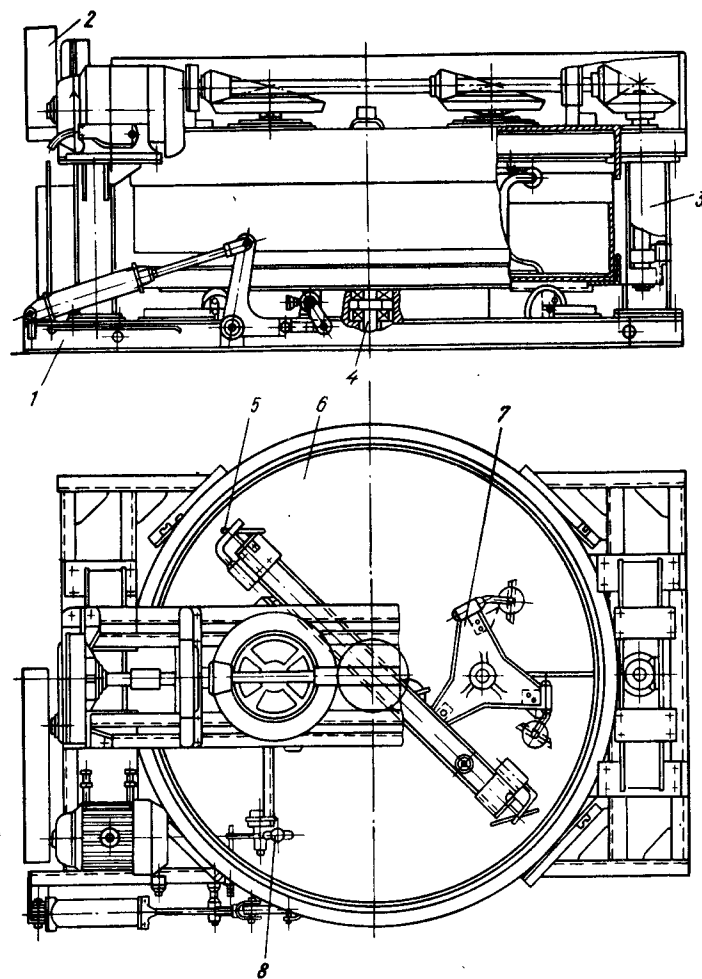


Рис. 6.11. Бетоносмеситель принудительного перемешивания С-357 емкостью 1000 л:

1 — рама; 2 — привод; 3 — станна; 4 — разгрузочное устройство; 5 — неподвижные гребки; 6 — смесительная чаша; 7 — смесительные лопатки; 8 — очистной гребок

обходимость в организации сложного бетонного хозяйства на строительной площадке.

Завод на каждую партию бетонной смеси выдает паспорт с указанием состава бетона и его класса.

§ 6.6. Укладка бетонной смеси.

Уход за бетоном и контроль качества

● Укладка бетонной смеси и ее уплотнение являются одними из наиболее трудоемких и энергоемких операций. Эти операции в настоящее время выполняются с помощью бетоноукладчиков

или более простых машин — бетонораздатчиков. Бетонукладчики позволяют в большей степени механизировать процесс распределения бетонной смеси в форме. Бетонная смесь должна быть уложена в форме так, чтобы в ней не оставались свободные места; особенно тщательно нужно заполнять углы и суженные места формы. После укладки бетонной смеси производят уплотнение ее вибрированием, виброштампованием, центрифугированием, вакуумированием, прокатом (см. гл. 11).

Наиболее распространенным видом уплотнения бетонной смеси является вибрирование. Степень уплотнения бетонной смеси с помощью вибраторов зависит в основном от частоты и амплитуды колебаний, а также продолжительности вибрирования.

Эффективность уплотнения бетонной смеси значительно возрастает при резонансных режимах виброуплотнения, при которых частота вынужденных колебаний частиц смеси совпадает с частотой собственных колебаний вибратора, при этих условиях плотная укладка бетонной смеси достигается в короткое время. Для каждой бетонной смеси имеется своя оптимальная интенсивность вибрирования, которая достигается правильным сочетанием амплитуды и частоты колебаний. На заводах сборного железобетона жесткие и малоподвижные смеси целесообразно уплотнять на стационарных низкочастотных резонансных виброплощадках с амплитудой 0,7 мм и частотой 25...30 Гц, для подвижных мелкозернистых бетонов оптимальные амплитуды уменьшаются до 0,15...0,4 мм, при этом частота колебаний увеличивается до 50...150 Гц.

По роду двигателя различают *вибраторы электромеханические, электромагнитные и пневматические*; наиболее распространены электромеханические вибраторы. В зависимости от вида, формы и размеров бетонируемой конструкции применяют вибраторы различных типов.

Для укладки бетона с большими открытыми поверхностями (полы, плиты, дороги) используют *поверхностные вибраторы* (рис. 6.12, а), передающие колебания бетонной смеси через металлическую площадку, к которой они прикреплены. Глубина распространения колебаний в толщу бетонной смеси достигает 20...30 см, продолжительность вибрирования на одном месте около 1 мин, после чего вибратор переставляют на смежный участок.

Глубинные вибраторы применяют при уплотнении бетонной смеси в массивных конструкциях большой глубины (толщины). В качестве глубинных вибраторов применяют: вибробулавы (рис. 6.12, б), в нижнем корпусе которых помещен электродвигатель с эксцентриковыми грузами, возбуждающими колебания булавы; высокочастотный (до 7000 кол/мин) вибратор с гибким валом (рис. 6.12, в), заканчивающийся тонкой цилиндрической рабочей частью, внутри которой расположен эксцентрик.

Для формирования сборных железобетонных изделий широко используют *стационарные виброплощадки* различной грузо-

подъемности, собираемые из однотипных унифицированных виброблоков. Виброплощадки изготовляют с различными режимами работы: одночастотным с гармоническими вертикальными колебаниями, двухчастотным, виброударным и др.

На практике часто используют *комбинированные способы уплотнения* бетонной смеси. Так, при формировании железобетонных изделий из жестких и малоподвижных смесей применяют вибрирование под нагрузкой. При величине прессырующего давления поверхности изделия 0,05...0,15 МПа можно применять способ вибропрессования.

При *центробежном способе формирования* для уплотнения бетонной смеси используют центробежную силу, возникающую при вращении формы. Частота вращения 400...900 об/мин, при этом бетонная смесь равномерно распределяется по стенкам формы и хорошо уплотняется; часть воды затверения (20...30%) отжимается к внутренней поверхности изделия, это способствует повышению плотности и водонепроницаемости. Такой способ формирования применяют при изготовлении труб, полых колонн, опор и т. п.

Повысить качество бетона можно *вакуумированием смеси*, при этом из бетонной смеси извлекается часть избыточной воды и воздуха, одновременно под действием атмосферного давления бетонная смесь уплотняется, ускоряется твердение и повышается прочность бетона. Еще лучшие результаты дает повторное вибрирование после вакуумирования, при котором закрываются мелкие поры, образовавшиеся при вакуумировании.

● **Сумма мероприятий, обеспечивающих благоприятные условия твердения уплотненной бетонной смеси, а также способы, предохраняющие бетон от повреждения его структуры в раннем возрасте, составляют уход за бетоном. Организация ухода за бетоном должна быть проведена сразу после укладки и уплотнения бетонной смеси.**

Прочность бетона нарастает в результате физико-химических процессов взаимодействия цемента с водой, которые нормально проходят в теплых и влажных условиях. Бетон при нормальных условиях постепенно набирает свою прочность и к 28 сут приобретает марочную прочность, причем в первые 3...7 сут прочность

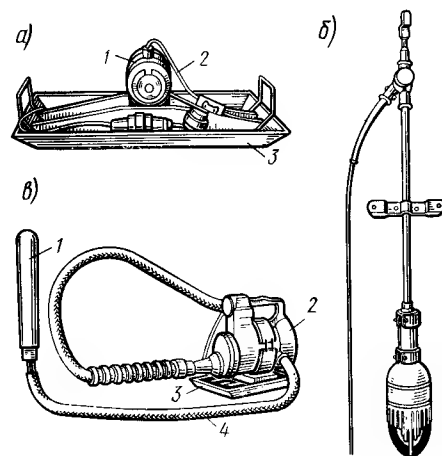


Рис. 6.12. Электровибраторы:

а — поверхностный И-7: 1 — электродвигатель; 2 — бронированный привод; 3 — площадка; б — вибробулава; в — внутренний с вибронаконечником И-21А: 1 — рабочий наконечник; 2 — электродвигатель; 3 — подставка; 4 — гибкий вал

бетона растет более интенсивно и на 7-е сутки составляет 60...70% марочной (проектной) прочности. Для заводской технологии такие условия твердения бетона неприменимы.

В заводской технологии применяют ускоренные методы твердения — тепловую обработку при обязательном сохранении влажности изделий. На заводах сборного железобетона чаще всего применяют прогрев изделий при атмосферном давлении в паровоздушной среде с температурой 80...85 °С или выдерживание в среде насыщенного пара при 100 °С. Стремятся применять насыщенный пар, чтобы исключить высыхание бетона и создать хорошие условия для гидратации цемента.

На заводах сборного железобетона применяют также и другие способы тепловой обработки изделий: электропрогрев, контактный обогрев, обогрев в газозаполненной среде и др.

● **Правильно организованный контроль качества бетонных работ на всех стадиях технологического процесса изготовления бетонных конструкций — одно из важнейших условий получения прочного и долговечного бетона и снижения стоимости конструкций.** На предприятиях сборного железобетона применяют три вида контроля: входной, операционный и выходной. Контроль состоит в испытании и выборе исходных материалов для бетона, в их дозировании и перемешивании, укладке, уплотнении и уходе за ним, а также в определении качества затвердевшего бетона испытанием пробных образцов.

Прочность и качество бетона в конструкции можно ориентировочно определить и без разрушения — с помощью акустических приборов. Сущность их действия основана на скорости распространения ультразвукового импульса или волны удара в материале и зависит от его плотности и прочности. Прочность бетона в конструкции без разрушения можно также определить и механическим способом, например прибором, действие которого основано на характеристике прочности, определяющейся глубиной лунки в бетоне, образованной шариком при его вдавливании, или величины отскока маятника от бетона.

§ 6.7. Особые свойства бетона

● **Высокая плотность бетона достигается рациональным подбором зернового состава заполнителей (с минимальной пустотностью), применением бетонных смесей с низким водоцементным отношением, интенсивным уплотнением, введением в бетонную смесь добавок (см. § 6.2).** Даже выполнение указанных мероприятий не дает возможности получить абсолютно плотный бетон. Поры в бетоне образуются в результате испарения воды, не вступившей в химическую реакцию с цементом при его твердении, а также вследствие неполного удаления воздушных пузырьков при уплотнении бетонной смеси. Поэтому бетон является материалом газопроницаемым.

● **Водопроницаемость бетона характеризуется небольшим дав-**

лением воды, при котором она еще не просачивается через образец. Плотный бетон при мелкопористой структуре и достаточной толщине конструкции оказывается практически водонепроницаемым. По водонепроницаемости бетон делят на шесть марок: В2, В4, В6, В8, В10 и В12, выдерживающих соответственно давление 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 и 1,2 МПа. В более тонких конструкциях добиваются высокой водонепроницаемости бетона использованием гидрофобного цемента, а также применением водоизоляционных покрытий, наносимых на поверхность пневматическим способом (торкретированием).

Плотный бетон может быть непроницаем не только для воды, но и для жидких нефтяных продуктов вязкой консистенции — мазута и тяжелой нефти. Легкие средние нефтяные фракции, например бензин и керосин, проникают через бетон легче, чем вода. С целью защиты бетонных и железобетонных сооружений, предназначенных для хранения тяжелых нефтепродуктов, поверхности сооружений покрывают жидким стеклом, а от проникания легких и жидких нефтяных продуктов (бензина, керосина и др.) применяют специальные бензинонепроницаемые мембраны, поверхностные покрытия — пленки из пластмасс — или изготавливают бетон на непроницаемом для указанных жидкостей расширяющемся цементе.

● **Морозостойкость бетона характеризуется наибольшим числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые способны выдерживать образцы 28-суточного возраста без снижения предела прочности при сжатии более чем на 25% и без потери в массе более 5%.** Морозостойкость является одним из главных требований, предъявляемых к бетону гидротехнических сооружений, дорожных покрытий, опор мостов и других подобных конструкций. Морозостойкость бетона зависит от его структуры. Для конструкций, подверженных в увлажненном состоянии попеременному замораживанию и оттаиванию, установлены следующие марки по морозостойкости: F50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600. Марку бетона по морозостойкости выбирают в зависимости от климатических условий (числа перемен уровня воды на омываемой поверхности бетона или числа смен замораживания и оттаивания за зимний период). Морозостойкими оказываются, как правило, бетоны высокой плотности. Способы получения таких бетонов рассмотрены ранее. Не менее важную роль в морозостойкости бетона играет морозостойкость заполнителей. Марка заполнителей по морозостойкости должна быть не ниже этого показателя для бетона.

● Бетон под нагрузкой ведет себя иначе, чем сталь и другие упругие материалы. **Область упругой работы бетона идет от начала нагружения до напряжения сжатия, при котором по границе сцепления цементного камня с заполнителем образуются микротрещины, при дальнейшем нагружении микротрещины образуются уже в цементном камне и возникают пластические неупругие деформации бетона.** Развитию пластических дефор-

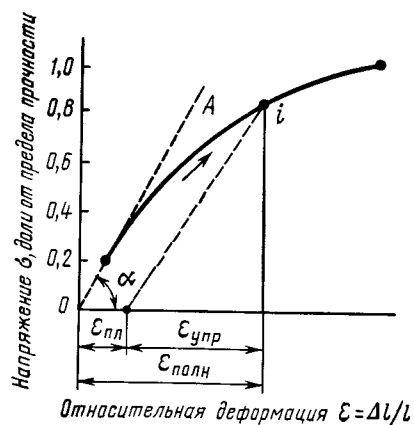


Рис. 6.13. Кривая «напряжение — деформация» бетона

ма деформирования (зависимость напряжения σ от относительной деформации ϵ) не прямолинейна, для каждого напряжения существует свой модуль упругости. Принято за начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении принимать отношение нормального напряжения к относительной деформации при значении напряжения не более 0,2 от предела прочности. Следовательно, начальный модуль упругости представляет собой тангенс угла наклона касательной OA и, следовательно, $E_n = 0,2R/\epsilon_{0,2R}$. Для других точек кривой, лежащих за указанной границей, модуль деформаций является переменной величиной, равной отношению соответствующего напряжения к полной деформации.

Начальный модуль упругости растет при увеличении прочности бетона и уменьшается с увеличением пористости бетона. При одинаковом классе бетона модуль упругости легкого бетона на пористом заполнителе в 1,7...2,5 раза меньше тяжелого бетона. Модуль упругости ячеистого бетона еще ниже. Модули упругости бетона при сжатии и растяжении принимают равными между собой.

Коэффициент Пуассона μ бетона изменяется в довольно узких пределах 0,13...0,22 и в среднем равен 0,167. Модуль деформаций легких бетонов на пористых заполнителях примерно в два раза меньше, чем у равнопрочных тяжелых бетонов, повышение предельной деформации бетона увеличивает его трещиностойкость.

Ползучесть — явление увеличения деформаций бетона во времени при действии постоянной нагрузки. Полная относительная деформация бетона при длительном действии нагрузки складывается из его начальной упругой и пластической деформации ползучести. Ползучесть проявляется при всех видах деформации. При растяжении бетона она в 1,5 раза выше, чем при сжатии.

маций способствует также гелевая составляющая цементного камня. Бетон ведет себя как упруговязкопластическое тело.

Опытами установлено, что при небольших напряжениях и кратковременном нагружении для бетона характерна упругая деформация. Если напряжение превосходит 0,2 от предела прочности, то наблюдается заметная остаточная (пластическая) деформация (рис. 6.13). Полную деформацию можно представить как сумму упругой и пластической деформаций ($\epsilon_{пл} + \epsilon_{упр}$). Поэтому диаграм-

Ползучесть бетона объясняют пластическими свойствами влажного цементного геля, а также возникновением и развитием микротрещин. Ползучесть зависит от вида цемента и заполнителей, состава бетона, его возраста, водоцементного отношения, влажности и условий твердения. Меньшая ползучесть у бетонов на высокомарочных цементах и плотных заполнителях. Легкие бетоны на пористых заполнителях имеют большую ползучесть, чем тяжелые.

В процессе твердения происходят объемные изменения бетона. Твердение бетона на воздухе, за исключением бетонов на безусадочном и расширяющемся цементах, сопровождается уменьшением объема, т. е. *усадкой*. При твердении бетона в воде вначале объем его несколько увеличивается и в воздушно-сухих условиях бетон дает усадку. Значительную усадку имеют бетоны из жидких смесей (с большим расходом цемента, а также водоцементным отношением). Наибольшая усадка в бетоне происходит в начальный период твердения — за первые сутки она составляет до 60...70% от месячной усадки. Объясняется это тем, что в указанный период особенно интенсивно обезвоживается тесто вследствие испарения и поглощения влаги гидратирующимися зернами цемента. В результате обезвоживания частицы сближаются между собой и цементный камень дает усадку.

Объемные изменения в бетоне в первый период твердения вызываются расширением от нагревания (иногда до 50 °C внутри массивных конструкций) в результате экзотермических реакций цемента с водой. Объемные изменения бетона могут вызвать значительные деформации конструкций и даже появление трещин. Для предотвращения их в массивных бетонных конструкциях устраивают специальные температурные швы. Чтобы уменьшить экзотермию бетона, применяют цементы с малым выделением тепла. Величина усадки бетона на портландцементе зависит от минералогического состава и тонкости помола цемента. Усадка бетона возрастает с увеличением тонкости помола цемента.

● **Агрессивная среда и меры защиты от нее.** Практика эксплуатации водопроводно-канализационных бетонных сооружений показала, что в ряде случаев под влиянием физико-химического действия жидкостей и газов бетон может разрушаться. Коррозия бетона вызывается главным образом разрушением цементного камня. Физико-химические процессы, происходящие при коррозии цемента, изложены в гл. 5. Коррозия бетона возникает в результате проникания агрессивного вещества в толщу бетона, и она особенно интенсивна при постоянной фильтрации такого вещества. Поэтому основной мерой предохранения бетона от коррозии является придание ему возможно большей плотности и правильное конструирование элементов сооружений, обеспечивающее равномерную (без образования трещин) деформацию бетона в процессе твердения.

Для предохранения бетона от коррозии следует применять цементы с минимальным выделением гидроксида кальция и

малым содержанием трехкальцевого алюмината. К таким цементам относятся высокопрочный портландцемент, портландцементы с гидравлическими добавками, шлакопортландцемент, глиноземистый и расширяющийся цементы. С целью устранения пор в поверхностных слоях бетона применяют импрегнирование в бетон цементного раствора, силикатирование, флюатирование. Защитить бетон от проникания агрессивных веществ можно с помощью поверхностных покрытий, облицовки их плотными керамическими плитками или камнями, выложенными на кислотоупорном цементе, созданием водонепроницаемой оболочки вокруг бетона из слоя жирной утрамбованной глины, покрытия гидроизоляционными битуминозными материалами и др.

● **Отношение к действию высоких температур.** Бетон — огнестойкий материал, выдерживающий высокие температуры во время пожара. Огнестойкость бетона позволяет применять его для устройства дымовых труб промышленных печей, их фундаментов.

Огнестойкость бетона зависит не только от вида цемента, но и природы заполнителей. Если в качестве заполнителей применяют горную породу, в состав которой входит кристаллический кварц, то при температуре около 600 °С в бетоне могут появиться трещины вследствие значительного увеличения объема кварца.

При проектировании бетонных конструкций, подвергающихся длительному воздействию температур, необходимо учитывать, что при температуре 150...250 °С прочность бетона на портландцементе снижается на 25%. При нагревании бетона выше 500 °С и последующем увлажнении он разрушается. Вначале происходит дегидратация гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$, а затем при последующем увлажнении образовавшаяся CaO гасится с увеличением в объеме, что приводит к разрушению цементного камня и бетона.

Для строительных конструкций, подвергающихся длительному воздействию высоких температур (свыше 200 °С), применяют специальный жаростойкий бетон.

§ 6.8. Особенности бетонирования в зимнее время

● Бетон, укладываемый зимой, необходимо предохранять от замерзания в течение срока твердения, необходимого для приобретения им 50%-ной проектной прочности. Обеспечения нормальных условий твердения бетона зимой достигают двумя способами: использованием внутреннего тепла бетона и дополнительной подачей тепла бетона извне.

В настоящее время зимнее бетонирование успешно внедрено в практику строительства СССР. Среди советских ученых, давших наиболее рациональные решения в области зимнего бетонирования, следует назвать проф. С. А. Миронова, В. Н. Сизова, И. Г. Совалова.

Для сокращения сроков твердения до 3...5 сут применяют высокопрочные и быстротвердеющие цементы (портландцементы М400, 500 и глиноземистый цемент), пониженное водоцементное отношение и интенсивное уплотнение бетонной смеси, а также вводят в бетонную смесь ускорители твердения (хлористый кальций и др.).

Внутренний запас тепла создают путем подогрева составляющих бетонной смеси (воды, песка и щебня или гравия) в такой мере, чтобы температура бетонной смеси по выходе из бетоносмесителя не превышала 30 °С, так как при более высокой температуре она быстро густеет и теряет удобоукладываемость. Воду для затворения можно подогревать до 80 °С, заполнители — до 40 °С. Кроме того, тепло, выделяющееся при химической реакции цемента с водой (экзотермия цемента), препятствует охлаждению конструкции.

Чтобы сохранить запас тепла в течение определенного срока, конструкции со свежееуложенной бетонной смесью покрывают теплоизоляционными материалами (опилками, шлаком, камышитом, шевелином); толщина покрытия определяется теплотехническим расчетом. Указанный способ носит название «термос». Применяется он для бетонирования массивных конструкций, имеющих модуль поверхности (отношение охлаждающейся поверхности бетона к его объему) не более 6.

В тонких конструкциях, а иногда и в массивных свежееуложенную бетонную смесь подогревают снаружи паром или электрическим током (электропрогрев). Пар для обогрева бетона с температурой 50...80 °С вводят между стенками двойной опалубки или в каналы, вырезанные с внутренней стороны опалубки; иногда его пропускают по трубам, уложенным внутри бетона. Такой способ дает возможность получить через 1...2 сут прочность, равную 60...70 % от 28-суточной.

Электропрогрев бетона производят переменным током. Ток передается электродами двух типов: поверхностными (в виде стальных пластинок, укладываемых на поверхность) и внутренними (в виде стальных стержней, уложенных в горизонтальном или вертикальном направлении). При изготовлении железобетонной конструкции в качестве одного из электродов используют арматуру. При прохождении через бетон электрического тока выделяется тепло, в результате чего бетон разогревается и быстро твердеет. Однако подогреваемый бетон должен иметь температуру не выше 60 °С. Иначе возможна местная пересушка бетона.

§ 6.9 Специальные виды тяжелых бетонов

● **Высокопрочный бетон прочностью 60...100 МПа** получают на основе цемента высоких марок, промытого песка и щебня прочностью не ниже 100 МПа. Высокопрочный бетон приготавливают с низким $\text{В/Ц} = 0,3...0,35$ (смеси жесткие или малоподвижные)

в бетоносмесителях принудительного действия. Для укладки смесей и формирования изделий используют интенсивное уплотнение: вибрирование с пригрузом, двойное вибрирование и др. Значительный эффект в производстве высокопрочных бетонов дают суперпластификаторы.

Высокопрочные бетоны бывают, как правило, и быстротвердеющими, однако для достижения отпускной прочности изделий в короткие сроки применяют тепловую обработку по сокращенному режиму. Новые особо быстротвердеющие цементы позволяют получать изделия из бетона без тепловой обработки. Тяжелый бетон имеет высокую прочность на растяжение, износ и морозостойкость.

Для приготовления высокопрочного бетона используют все средства, как-то: принимают предельно низкое водоцементное отношение, суперпластификаторы, высокопрочный цемент, тщательное перемешивание и уплотнение бетонной смеси и строгий уход за бетоном.

● **Мелкозернистый бетон отличается большим содержанием цементного камня, поэтому его усадка и ползучесть несколько выше.** Применяют его при изготовлении тонкостенных, в том числе армоцементных конструкций, а также в тех случаях, когда отсутствует крупный заполнитель. Свойства мелкозернистого бетона характеризуются такими же факторами, как и обычного бетона. Однако отсутствие крупного заполнителя влечет за собой увеличение водопотребности бетонной смеси, а для получения равнопрочного бетона и равноподвижной смеси возрастает расход цемента на 20...40%. Для сокращения расхода цемента необходимо применять высококачественные пески, пластифицирующие добавки, суперпластификаторы, производить хорошее уплотнение смеси. Мелкозернистый бетон обладает повышенной прочностью на изгиб, хорошей водонепроницаемостью и морозостойкостью.

Кислотоупорный бетон получают на кислотоупорном цементе и кислотоупорных заполнителях. Затворяют бетонную смесь растворимым стеклом в количестве, обеспечивающем необходимую подвижность бетонной смеси. Для изготовления кислотоупорного бетона, обладающего стойкостью при действии неорганических кислот (кроме плавиковой), применяют смесь растворимого стекла (силиката натрия) с 15% кремнефтористого натрия Na_2SiF_6 , а также песок кварцевый, щебень из бештаунита, андезита или кварцита и пылевидную фракцию (мельче 0,15 мм), приготовляемую из кислотостойких материалов.

Твердение кислотоупорного бетона должно проходить в теплой воздушно-сухой среде.

Кислотоупорный бетон характеризуется прочным сцеплением со стальной арматурой, стойкостью по отношению к действию серной, соляной, азотной кислот и др. (за исключением плавиковой), пределом прочности при сжатии через 3 сут — 11...12 МПа, через 28 сут — 15 МПа. При действии воды и слабых кислот

кислотоупорный бетон постепенно разрушается; действию концентрированных кислот этот бетон сопротивляется хорошо, но растворы щелочей легко разрушают его. Кислотоупорный бетон используют для различных конструкций и облицовки аппаратуры в химической промышленности, заменяя им дорогие материалы: листовую свинец, кислотоупорную керамику, тесаный камень.

● **Жаростойкий бетон способен сохранять в заданных пределах свои физико-механические свойства при длительном воздействии высоких температур.** В зависимости от применяемого вяжущего жаростойкие бетоны бывают следующих видов: бетоны на портландцементе, шлакопортландцементе, на глиноземистом цементе и жидком стекле. Для повышения стойкости бетона при нагревании в его состав вводят тонкомолотые добавки из хромитовой руды, шамотного боя, магнезитового кирпича, андезита, гранулированного доменного шлака и др. Тонкость помола добавки для бетона на портландцементе должна быть такой, чтобы через сито № 009 проходило не менее 70%, а для бетона на жидком стекле — не менее 50%. В качестве мелкого и крупного заполнителя применяют хромит, шамот, бой глиняного кирпича, базальт, диабаз, андезит и др. При правильно выбранных вяжущих и заполнителях бетон может длительное время выдерживать, не разрушаясь, действие температуры до 1200°C.

Выбор материалов производят в зависимости от условий и температуры его эксплуатации.

Жаростойкие бетоны на портландцементе и глиноземистом цементе производят класса (марки) не менее В20 (250), а на жидком стекле — В12,5 (150). Бетоны на жидком стекле не применяют в условиях частого воздействия воды, а на портландцементе — в условиях кислой агрессивной среды.

При приготовлении бетонных смесей на портландцементе или глиноземистом цементе соблюдается такая последовательность: в смеситель заливают заданное количество воды, при включенном перемешивании загружают другие компоненты и перемешивают 2...3 мин. При изготовлении газобетона, в котором заполнители отсутствуют, после перемешивания загружают водно-алюминиевую суспензию и перемешивают дополнительно 1...2 мин.

Приготовление бетонных смесей на силикат-глыбе производят в шламбассейне, куда загружают дозированные по массе силикат-глыбу, тонкомолотую добавку, едкий натр и воду. Полученный шлам перекачивают в ванну, подогревают до 30...35°C и подают в смеситель, в который при включенном перемешивающем механизме вводят дозированные по массе заполнитель, водоалюминиевую суспензию и нефелиновый шлам. Смесь перемешивают 2...3 мин. Для формирования изделий из ячеистого бетона применяют металлические формы. В форме смесь выдерживают 2...3 ч.

Твердение изделий на глиноземистом цементе происходит в течение 1 сут при температуре 18...20°C и влажности 90...100%.

на портландцементе твердение изделий проходит при температуре 80...90°C и влажности 90...100%, а изделия на силикат-глыбе твердеют в автоклаве. При приготовлении жаростойких бетонов стремятся ограничить количество воды и жидкого стекла. Осадка конуса должна быть не более 2 см, а жесткость — не менее 10 с.

Бетоны на портландцементе разных составов используются при одностороннем нагреве с предельной температурой 1700°C, на глиноземистом цементе и на жидком стекле — до 1400°C.

● **Декоративные бетоны** получают при введении в бетонную смесь щелоче- и светостойких пигментов в количестве 8...10 % от массы цемента (охра, мумия, сурик и др.) или применении цветных цементов. В отдельных случаях используют заполнители, обладающие необходимым цветом, например туфы, красные кварциты, мрамор и другие окрашенные горные породы. Цветные бетоны используют для декоративных целей в строительстве зданий и сооружений, при устройстве пешеходных переходов, разделительных полос на дорожных покрытиях, парковых дорожек, а также изготовлении элементов городского благоустройства.

● **Бетон для дорожных и аэродромных покрытий.** Условия работы дорожного бетона неблагоприятны. Он многократно подвергается увлажнению и высыханию, замораживанию и оттаиванию, а также воздействию транспортных средств. Основными расчетными напряжениями являются напряжения от изгиба. В связи с этим к дорожному бетону предъявляют повышенные требования к прочности на растяжение при изгибе, морозостойкости, износостойкости и воздухостойкости. Долговечность дорожного бетона достигается не только выбором качественных материалов, но и правильной технологией производства работ. Для дорожного бетона применяют портландцемент высоких марок с органическим содержанием СзА, высокопрочные качественные заполнители — щебень из гранита, известняка, кварцевый песок и др. Для увеличения подвижности бетонной смеси применяют пластифицирующие и воздухововлекающие добавки, иногда и ускорители твердения.

Бетон для защиты от радиоактивного воздействия. В качестве заполнителей для такого бетона применяют материалы с высокой плотностью — барит, магнетит, лимонит, а также металлический скрап в виде чугунной дробн, обрезков арматурного полосового и профильного металла, металлической стружки и др. Плотность защитных особо тяжелых бетонов зависит от вида заполнителя и его плотности. Для использования атомной энергии в мирных целях в нашей стране потребовалась надежная защита обслуживающего персонала от радиоактивных воздействий ядерных реакторов, атомных электростанций, предприятий по выработке и переработке изотопов и др. Среди лучей ядерного распада наибольшую опасность для живых организмов представляют

γ- и нейтронное излучение. Степень защиты от последних определяется толщиной ограждения и его плотности.

В качестве вяжущих для приготовления особо тяжелых защитных бетонов применяют портландцементы, шлакопортландцементы и глиноземистые цементы. В специальных бетонах наиболее эффективным вяжущим может быть такое вещество, которое в результате твердения присоединяет большое количество воды (с целью увеличения в бетоне водорода). Таким веществом является гидросульфат алюмината кальция, который образуется при взаимодействии трехкальцевого алюмината, содержащегося в портландцементе, с гипсом. Поэтому один из видов цемента специального назначения содержит повышенное количество трехкальцевого алюмината и гипса. Для предупреждения его возможного самопроизвольного разрушения к нему добавляют гидравлические добавки (трепел, диатомит и др.). Кроме портландцемента применяют также глиноземистые, расширяющиеся и безусадочные цементы. Но последние вяжущие имеют высокую стоимость.

Для улучшения защитных свойств гидратных бетонов (такое название эти бетоны получили за большое содержание в них воды) вводят добавки, повышающие содержание в бетоне водорода, карбида, бора, хлористого лития, сернистого кадмия, и другие добавки, содержащие легкие элементы — водород, литий, кадмий и борсодержащие вещества.

§ 6.10. Легкие бетоны

● **Легкими бетонами** называют все виды бетонов, имеющие среднюю плотность в воздушно-сухом состоянии от 200 до 2000 кг/м³. Главные требования, предъявляемые к легкому бетону, — заданная средняя плотность, необходимая прочность к определенному сроку твердения и долговечность (стойкость). Характерными особенностями легкого бетона являются его пониженная средняя плотность и теплопроводность.

Легкие бетоны классифицируют по различным признакам: основному назначению, виду вяжущего, заполнителя, структуре.

По назначению легкие бетоны подразделяют на два вида: конструкционные, включая конструкционно-теплоизоляционные, и теплоизоляционные и др.

По виду вяжущего легкие бетоны могут быть на основе цементных, известковых, шлаковых, гипсовых, полимерных, обжиговых и других вяжущих, обладающих специальными свойствами.

По виду крупного пористого заполнителя установлены следующие виды легких бетонов: керамзитобетон, шунгизитобетон, аглопоритобетон, шлакопемзобетон, перлитобетон, бетон на щебне из пористых горных пород, вермикулитобетон, шлакобетон (бетон на топливном или пористом отвальном металлургическом шлаке), бетоны на аглопоритовом или зольном гравии.

По структуре легкие бетоны подразделяют на *плотные, поризованные и крупнопористые*.

Далее рассматриваются легкие бетоны на пористом заполнителе. Ячеистые легкие бетоны даны в § 6.1.

Легкие бетоны на пористых заполнителях имеют принципиальные отличия от обычных тяжелых бетонов, обусловленные особенностями пористых заполнителей. Последние имеют меньшую плотность, чем плотные, небольшую прочность, зачастую ниже заданного класса бетона, обладают сильно развитой и шероховатой поверхностью. Эти качества легкого заполнителя влияют как на свойства легкобетонных смесей, так и на свойства бетона.

В зависимости от заполнителя, плотного или пористого, резко меняются водопотребность и водосодержание бетонной смеси, меняются и основные свойства легкого бетона. Одним из решающих факторов, от которых зависит прочность легкого бетона, является расход воды. При увеличении количества воды до оптимального прочность бетона растет. Оптимальный расход воды в легких бетонах соответствует наибольшей плотности смеси, уложенной в заданных условиях, и устанавливается по наибольшей прочности бетона или же по наибольшей плотности уплотненной смеси. Если же количество воды превышает оптимальное для данной смеси, то плотность цементного камня уменьшается, а с ним уменьшается и прочность бетона. Для легкого бетона оптимальный расход воды можно установить по наибольшей плотности уплотненной бетонной смеси или наименьшему выходу бетона. Следует также иметь в виду, что в легких бетонах некоторый избыток воды менее вреден, чем ее недостаток. Оптимальному расходу воды для бетона данного состава соответствует наилучшая удобоукладываемость, при которой наиболее компактно располагаются составляющие бетона.

Стремление максимально плотно уложить заполнитель объясняется тем, что наиболее легкий бетон заданной прочности получается при минимальном расходе вяжущего и наибольшем сближении зерен пористого заполнителя, т. е. при предельной степени уплотнения смеси. Хорошее уплотнение смеси достигается вибрацией с применением равномерно распределенного пригруза на поверхности формируемой массы (вибропрессованием, виброштампованием).

Оптимальное количество воды для приготовления легких бетонов зависит главным образом от водопотребности заполнителя и вяжущего, интенсивности уплотнения смеси и состава бетона. Водопотребность заполнителя определяется зерновым составом и пористостью, и обычно чем она больше, тем больше суммарная поверхность и открытая пористость его зерен.

Отсос воды из цементного теста или раствора пористыми заполнителями в период приготовления и укладки бетонной смеси вызывает относительно быстрое ее загустевание, что делает смесь жесткой и трудноукладываемой. Это специфическое

свойство усиливается и шероховатой, развитой поверхностью пористого заполнителя. Для повышения подвижности смеси необходимо вводить в нее большее количество воды, чем в обычные (тяжелые) бетоны.

Плотность и прочность легкого бетона зависят главным образом: от насыпной плотности и зернового состава заполнителя, расхода вяжущего и воды, а также от метода уплотнения легкобетонной смеси. По качеству пористого заполнителя можно ориентировочно судить, какая прочность легкого бетона может быть получена.

В строительной практике ограждающие и несущие конструкции получают из относительно плотных легких бетонов значительной прочности (2,5...10 МПа). Снижение плотности достигается тщательным подбором зернового состава пористого заполнителя, а также наименьшим расходом вяжущего для бетона заданной прочности, т. е. максимальным заполнением объема бетона пористым заполнителем, так как заполнитель легче цементного камня. При этом важно правильное соотношение крупных и мелких фракций заполнителя. Для разных видов заполнителей будет свой оптимальный зерновой состав. Оптимальное содержание мелких фракций соответствует наименьшей плотности бетона и наименьшему расходу цемента. Однако с увеличением количества мелких фракций заполнителя сверх оптимального растет плотность бетона и ухудшается удобоукладываемость смеси. Оптимальный зерновой состав заполнителя подбирают опытным путем.

Для снижения плотности бетона без уменьшения его прочности целесообразно применять высокоактивные вяжущие вещества.

Особенностью легких бетонов является то, что их прочность зависит не только от качества цемента, но и его количества. С увеличением расхода цемента растут прочность и плотность бетона. Это связано с тем, что с увеличением количества цементного теста легкобетонные смеси лучше уплотняются, а также возрастает содержание в бетоне наиболее прочного и тяжелого компонента — цементного камня.

Теплоизоляционные свойства легких бетонов зависят от степени их пористости и характера пор. В легком бетоне тепло передается через твердый остов и через воздушные пространства, заполняющие поры, а также в результате конвекционного движения воздуха в замкнутом объеме. Поэтому чем меньше объем пор, тем меньше подвижность воздуха в бетоне и лучшими теплоизолирующими свойствами обладает бетон.

Легкие бетоны в силу своей высокой пористости менее морозостойки, чем тяжелые, но достаточно морозостойки для применения в стеновых и других конструкциях зданий и сооружений. Хорошую морозостойкость легких бетонов можно получить, применяя искусственные пористые заполнители, обладающие низким водопоглощением, например, керамзит, а также путем

поризации цементного камня. Повышают морозостойкость легких бетонов также введением гидрофобизирующих добавок.

Легкие бетоны ввиду универсальности свойств применимы в различных строительных элементах зданий и сооружений. Так, из легких бетонов на пористых заполнителях, обладающих низкой теплопроводностью, изготавливают панели для стен и перекрытий отапливаемых зданий; из напряженного армированного бетона выполняют пролетные строения мостов, фермы, плиты для проезжей части мостов, из легкого бетона строят плавучие средства.

§ 6.11. Материалы для легких бетонов

● Для приготовления легких бетонов применяют портландцемент, быстротвердеющий портландцемент и шлакопортландцемент.

В качестве **заполнителей** для легких бетонов используют *природные* и *искусственные* сыпучие пористые материалы с насыпной плотностью не более 1200 кг/м^3 при крупности зерен до 5 мм (песок) и не более 1000 кг/м^3 при крупности зерен 5...40 мм (щебень, гравий).

По происхождению пористые неорганические заполнители делят на три группы: *природные*, *искусственные* (специально изготавливаемые) и заполнители из *отходов промышленности*.

Природные пористые заполнители изготавливают дроблением и рассевом легких горных пород (пемзы, вулканических шлаков и туфов, пористых известняков, известняков-ракушечников, известняковых туфов и др.).

Искусственные пористые заполнители получают из отходов промышленности или путем термической обработки силикатного сырья, подвергнутого рассеву или дроблению и рассеву. К ним относятся: а) *керамзит* и его разновидности, *шунгизит*, *зольный гравий*, *глинозольный керамзит*, *вспученные азерит*, получаемые обжигом со вспучиванием подготовленных гранул (зерен) из глинистых и песчано-глинистых пород (глин, суглинков, глинистых сланцев, аргиллита, алевролита), *шунгитосодержащих сланцев*, *трепелов*, *золашлаковой смеси* или *зола-уноса ТЭЦ*; б) *термолит*, получаемый при обжиге без вспучивания щебня или подготовленных гранул кремнистых опаловых пород (диатомита, трепела, опоки и др.); в) *перлит* вспученный, получаемый при обжиге гранул из вулканических водосодержащих пород (перлита, обсидиана и других водосодержащих вулканических стекол); г) *вермикулит* вспученный, получаемый при обжиге подготовленных зерен из природных гидратированных слюд. Из отходов промышленности применяют песок и щебень преимущественно из гранулированного или вспученного металлургического шлака, а также грубодисперсные зола-уносы и золашлаковые смеси ТЭЦ.

Гранулированный шлак — мелкозернистый пористый мате-

риал, получаемый при быстром охлаждении расплавов металлургических шлаков.

Шлаковую пемзу (термозит) получают в виде глыб ячеистой структуры путем вспучивания шлакового расплава с помощью воды, воздуха или их смеси.

Существующие способы поризации делят на две основные группы. К первой относятся методы поризации расплава, осуществляющиеся в периодически действующих агрегатах, например в бассейнах; ко второй — методы поризации расплава в непрерывно действующих агрегатах (например, гидроэкранный установка). Фиксацию пористой структуры осуществляют быстрым охлаждением расплава. Куски шлаковой пемзы дробят и рассеивают на щебень и песок. В зависимости от насыпной плотности щебня ($400\text{--}800 \text{ кг/м}^3$) прочность заполнителя составляет 0,4...2,0 МПа.

Аглопорит представляет собой искусственный пористый заполнитель с размером гранул 5...20 мм, насыпной плотностью $400\text{--}700 \text{ кг/м}^3$ и пределом прочности 0,4...1,5 МПа. Сырьем для производства аглопорита служат глинистые породы (суглинки, супесь, аргиллит, глинистый сланец), а также отходы промышленности — глинистые отходы от добычи и обогащения углей, горелая порода, топливные шлаки, зола ТЭЦ и другие камневидные силикатные породы. Технология производства аглопоритового гравия из зол ТЭЦ (рис. 6.14) методом спекания сырьевых гранул на решетках алгомерационных машин позволяет получать искусственный пористый заполнитель в виде гранул округлой формы определенного зернового состава со спекшейся поверхностной оболочкой повышенной прочности.

Гравий и песок керамзитовый относятся к специально изготовленным заполнителям — это материал округлой формы, который получают при обжиге глин. Создание пористой структуры достигается вспучиванием глинистого вещества, нагретого до пиропластического состояния газами, выделяющимися из него в процессе нагревания. Керамзитовый гравий выпускают прочностью 0,6...6 МПа, насыпной плотностью $150\text{--}800 \text{ кг/м}^3$, средней прочностью 2,6 МПа. Керамзитовый песок получают дроблением и рассевом керамзитового гравия или щебня или как самостоятельную фракцию при обжиге.

Гравий керамический полый — материал округлой формы — получают обжигом специально изготовленных пустотелых глиняных гранул.

Вспученный перлит изготавливают в виде щебня и песка путем кратковременного обжига вулканических водосодержащих стекловидных пород. Процесс теплообработки перлитов в зависимости от свойств сырья и вида готового продукта (щебня и песка) осуществляют путем одно- и двухстадийного обжига в коротких вращающихся печах и во взвешенном состоянии в вертикальных печах.

По форме и характеру поверхности пористые заполнители

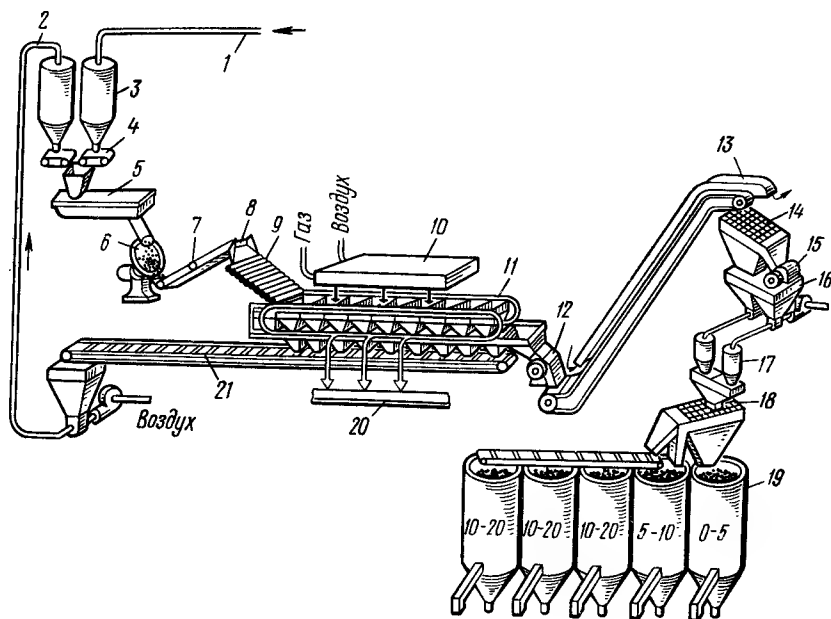


Рис. 6.14. Принципиальная технологическая схема производства аглопоритового гравия из золы ТЭЦ:

1 — пневмотранспорт золы; 2 — пневмотранспорт возврата; 3 — расходный бункер золы; 4 — автоматический весовой дозатор; 5 — двухвальный шнековый смеситель; 6 — тарельчатый гранулятор; 7 — ленточный конвейер; 8 — лоток; 9 — роликовый укладчик; 10 — горн; 11 — ленточная обжиговая агломерационная машина; 12 — роторная дробилка; 13 — пластинчатый конвейер; 14, 18 — инерционные грохоты; 15 — двухвальцовая зубчатая дробилка; 16 — приемный бункер; 17 — рукавный фильтр; 19 — бункер готовой продукции; 20 — сборный коллектор для охлаждающих газов; 21 — ленточный конвейер для сбора просыпи

могут иметь округлую, относительно гладкую или угловатую и шероховатую (ноздреватую) поверхность. По крупности зерен их делят на следующие фракции: песок — до 1,2 и 1,2...5,0 мм, щебень или гравий — 5...10, 10...20 и 20...40 мм. По показателям насыпной плотности в сухом состоянии (кг/м^3) пористые заполнители делят на марки М100...1200 для щебня (гравия) и до М1200 для песка. Пористые заполнители в зависимости от прочности, определяемой сдавливанием в цилиндре, подразделяют на марки.

Выбор крупного заполнителя производят на основе подбора состава бетона с учетом формы зерен (гравий, щебень), вида и свойств мелкого заполнителя и структуры и вида бетона (теплоизоляционного, конструктивно-теплоизоляционного, конструктивного).

Содержание водорастворимых сернистых соединений в пересчете на SO_3 в заполнителях, предназначенных для армированных легких бетонов, не должно превышать 1% по массе.

В качестве добавок для легких бетонов применяют тонкомо-

лотые доменные гранулированные шлаки, диатомит, трепел, опоки, туф, пемзу, трасс. Кроме указанных в легкие бетоны вводят добавки, являющиеся замедлителями или ускорителями твердения. В качестве порообразователей для снижения плотности в состав легких бетонов вводят алюминиевый порошок, пергидроль, смолосапониновый порообразователь и другие добавки.

Для приготовления и увлажнения легкого бетона используют питьевую воду, отвечающую тем же требованиям, что и для тяжелых бетонов.

● **Защита стальной арматуры в легких бетонах.** Повышенная пористость легких бетонов способствует возникновению и развитию коррозии арматуры в железобетонных изделиях. Поэтому в агрессивной среде легкий бетон армированной конструкции должен быть плотным. Как показывает практика, в таком бетоне содержание цемента должно быть не менее 250 кг/м^3 . Иногда арматуру покрывают различными составами: цементно-казеиновой суспензией с нитритом натрия; битумной мастикой с молотым песком, золой и растворителем — толуолом, битумоцементной мастикой.

§ 6.12. Основы проектирования состава легких бетонов

● При подборе состава легких бетонов исходят из условия получения экономичного бетона, обеспечивающего не только удобоукладываемость бетонной смеси и прочность бетона, но и заданную плотность при наименьшем расходе цемента.

Задача подбора состава легкого бетона усложняется по сравнению с подбором состава тяжелого бетона. Подбирая состав тяжелого бетона, обычно находят соотношение между щебнем и песком, требуемое В/Ц и расход цемента. В легком бетоне трудно установить расчетом В/Ц, а удобоукладываемость колеблется в больших пределах. Это связано с тем, что пористые заполнители обладают значительным водопоглощением, интенсивно отсасывая воду из цементного теста. Шероховатая поверхность пористых заполнителей затрудняет получение точных показателей удобоукладываемости смеси. Эти обстоятельства приводят к тому, что состав легкобетонной смеси подбирают опытным путем, определяя оптимальный расход воды для каждого состава бетона, устанавливая зависимость прочности бетона от расхода цемента при оптимальных расходах воды.

Существует несколько методов подбора состава легкого бетона, но чаще всего применяют метод подбора состава легкого бетона по оптимальному расходу воды. При этом пользуются способом опытных затворений, который включает следующие операции: выбор наибольшей крупности и определение содержания крупного и мелкого заполнителей (рис. 6.15); определение расхода вяжущих и добавок для пробного замеса; предварительный расчет расхода заполнителей на 1 м^3 смеси для приготовления пробных замесов; уточнение расхода воды по заданной

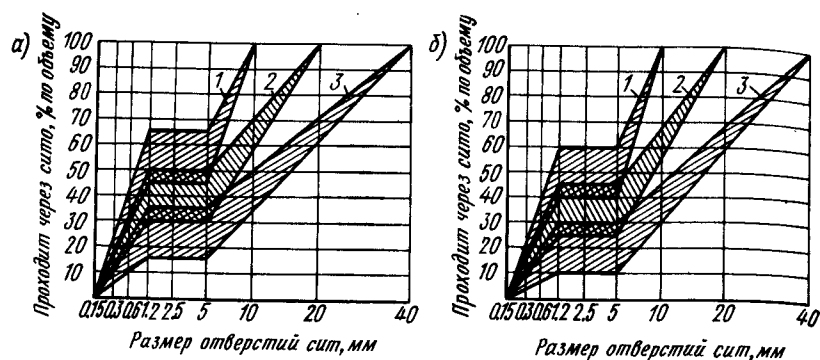


Рис. 6.15. График зернового состава пористых заполнителей:
а — пористого щебня и песка; б — пористого гравия и песка; 1 — предельная крупность заполнителя 10 мм; 2 — то же, 20 мм; 3 — то же, 40 мм

подвижности или выявление оптимального содержания воды по наибольшей плотности уплотненной легкобетонной смеси; установление зависимости между расходом вяжущего и прочностью бетона при заданной подвижности смеси. Одновременно устанавливают зависимость между расходом цемента и плотностью бетона при принятых условиях уплотнения смеси.

Обычно для приготовления легкого бетона принимают наибольшую крупность гравия до 40 мм, а щебня — до 20 мм. При использовании пористого заполнителя с предельной крупностью до 20 мм бетон при прочих равных условиях получают более однородным.

Типовые нормы расхода цемента для приготовления различных видов легкого бетона приведены в СНиП 5.01.23—83.

Бетонные смеси с легкими заполнителями готовят аналогично обыкновенным бетонным смесям. Однако легкобетонную смесь следует более тщательно перемешивать. Уплотнение легкого бетона производят теми же методами, что и тяжелого бетона. При этом следует учитывать, что плотность легкого бетона можно повысить не только подбором соответствующего гранулометрического состава бетонной смеси, расходом воды и применением пластифицирующих добавок, но и интенсивным и длительным уплотнением. Воздействие вибрирования на легкобетонные смеси отличается рядом особенностей. Большая разница в плотности заполнителя и цементного теста приводит при вибрировании к слабому уплотнению в нижней зоне и разуплотнению смеси в верхней зоне изделия, поэтому легкобетонные смеси требуют вибрирования с пригрузом, компенсирующим недостаток собственной массы заполнителей. Чем меньше плотность заполнителя, тем больше требуется пригруз.

Свежеотформованные предельно уплотненные легкие бетоны обладают высокой структурной прочностью, позволяющей немедленную распалубку. Легкобетонные изделия можно формо-

вать всеми способами, применяемыми для формирования тяжелых бетонов (см. гл. 11). Аналогичным образом организуется и ускоренное твердение их.

● **Свойства легких бетонов.** По структуре легкие бетоны подразделяют на плотные, поризованные и крупнопористые.

Основным показателем прочности легкого бетона является класс бетона установленный по прочности его на сжатие: В2; 2,5; 3,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 17,5; 20; 22,5; 25; 30; 40; для теплоизоляционных бетонов, кроме того, предусмотрены классы В0,35; 0,75 и 1.

Наряду с прочностью важной характеристикой легкого бетона является его плотность в сухом состоянии. По этому показателю легкие бетоны подразделяют на марки: Д200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900 и 2000. Уменьшить плотность легких бетонов можно путем образования в цементном камне мелких пор с помощью пено- и газообразующих веществ.

Теплопроводность легких бетонов зависит в основном от плотности и влажности. Увеличение влажности на 1% повышает теплопроводность на 0,016...0,035 Вт/(м°·С).

По морозостойкости легкие бетоны делят на 10 марок: F 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 и 500. Для наружных стен зданий применяют бетоны с морозостойкостью не ниже F 25.

Водонепроницаемость конструктивных легких бетонов может быть высокой. Установлены следующие марки легкого бетона на пористых заполнителях по водонепроницаемости W 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,2 (МПа гидростатического давления).

Легкий бетон — эффективный материал, который имеет большую перспективу.

§6.13. Ячеистые бетоны

● **Ячеистые бетоны** являются разновидностью легких бетонов с равномерно распределенными порами (до 85% от общего объема бетона); их получают в результате затвердевания предварительно вспущенной порообразователем смеси вяжущего, воды и кремнеземистого компонента.

По виду применяемого вяжущего ячеистые бетоны делят на следующие группы: *газобетоны и пенобетоны*, получаемые на основе портландцемента или цементно-известкового вяжущего; *газосиликаты и пеносиликаты*, получаемые на основе смеси извести-кипелки и кварцевого песка; *газошлакобетоны и пеношлакобетоны*, получаемые из смеси извести и тонкомолотых доменных гранулированных шлаков или золы-уноса.

По условиям твердения различают ячеистые бетоны *пропаренные и автоклавного твердения*.

По назначению и плотности ячеистые бетоны делят на *теплоизоляционные* с плотностью в сухом состоянии до 500 кг/м³; *конструктивно-теплоизоляционные* с плотностью 500...900 кг/м³

и конструкционные с плотностью 900...1200 кг/м³. По показателям плотности установлено десять марок ячеистого бетона от Д300 до Д1200.

Ячеистые бетоны, будучи материалами весьма пористыми, отличаются низкой плотностью и соответственно относительно невысокой прочностью. Такая же связь, но несколько другого порядка, существует между плотностью и теплопроводностью — показателем, особо важным для ячеистых бетонов. Теплопроводность ячеистых бетонов изменяется 0,07...0,25 Вт/(м·°C).

В идеальном случае структура ячеистого бетона представляет замкнутые ячейки размером 0,4...1,5 мм. Равномерность размеров и замкнутый характер пор уменьшают концентрацию напряжений в цементной оболочке ячеек, распределение напряжений происходит равномерно по сечению элемента, и прочность ячеистого бетона увеличивается. При неудовлетворительной структуре наряду с мелкими замкнутыми порами присутствуют открытые крупные ячейки, которые могут сообщаться не только между собой, но и с окружающей средой. При такой структуре ячеистого бетона уменьшаются прочность и морозостойкость, увеличиваются теплопроводность и водопоглощение. Высокая морозостойкость ячеистых бетонов объясняется особенностями их строения — большим количеством замкнутых пор, наполненных воздухом или газом. Для ячеистых бетонов установлены следующие марки морозостойкости: F15, 25, 35, 50 и 100.

Важным показателем прочности ячеистого бетона является прочность камня-оболочки ячейки, которая зависит не только от вида вяжущего, но и условий его твердения и влажности бетона. Наиболее высокую прочность имеют бетоны после автоклавной обработки, при этом значительно экономится вяжущее вещество. В зависимости от гарантированных значений прочности ячеистого бетона на сжатие установлены следующие классы (МПа): В0,35; 0,75; 0,85; 1; 1,5; 2,5; 3,5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5 и 20.

Большие усадочные деформации вызываются изменением влажности при высыхании бетона, их величина зависит главным образом от начальной влажности изделий после тепловлажностной обработки. После автоклавного твердения влажность изделий доходит до 25% по массе, а после пропаривания — до 50%. Усадка после высыхания достигает соответственно 1,2 и 2,5 мм/м. От усадочных деформаций могут появиться трещины, значительно снижающие долговечность изделий.

Введение в состав ячеистого бетона немолотого песка или снижение расхода воды затворения, а также применение более совершенной технологии изготовления изделий — вибровспучивания с последующей автоклавной обработкой — позволяет значительно снизить усадочные деформации.

Вяжущим для приготовления ячеистых бетонов обычно служат портландцемент, молотая негашеная известь. В качестве кремнеземистого компонента используют измельченный кварцевый песок, молотые доменные шлаки и золу-унос.

Вода для ячеистых бетонов должна удовлетворять общим требованиям, предъявляемым к воде для бетонов.

Для образования ячеистой структуры бетона применяют **пено- и газообразователи**. В качестве пенообразователей используют несколько видов поверхностно-активных веществ, способствующих получению устойчивых пен. Клееканифольный пенообразователь приготавливают из мездрового клея, канифоли и водяного раствора едкого натра; смолосапониновый — из мыльного корня и воды, иногда для увеличения стойкости пены в него вводят жидкое стекло; алюмосульфонафтенный — из керосинового контакта, сернокислого глинозема и едкого натра; пенообразователь ГК — из гидролизованной боевской крови и сернокислого железа. В качестве газообразователей используют алюминиевую пудру ПАК-3 или ПАК-4 с содержанием активного алюминия 82% и тонкостью помола 5000...6000 см²/г. Расход алюминиевой пудры зависит от плотности получаемого газобетона и составляет 0,25...0,6 кг/м³.

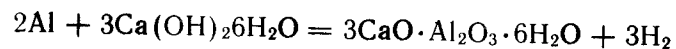
● **Пенобетоны получают смешиванием цементного теста или раствора с устойчивой пеной.** Пену получают взбиванием жидкой смеси канифольного мыла и животного клея или водного раствора сапонины (вытяжки из растительного мыльного корня). Такая пена имеет устойчивую структуру, хорошо смешивается с цементным тестом и раствором, которые распределяются по пленкам, окружающим воздушные ячейки, и в этом положении затвердевают. Лучшими пенообразователями являются алюмосульфонафтенные и препарат ГК (гидролизованная боевская кровь).

Пену, цементное тесто или раствор, а также их смесь приготавливают в специальных пенобетоносмесителях, состоящих из трех барабанов, внутри которых вращаются валы с лопастями. Готовое тесто из верхнего барабана переливается в нижний, туда же из второго верхнего барабана поступает готовая пена, после чего тесто и пену тщательно перемешивают в течение 2...3 мин. Приготовленная смесь поступает в бункера, из которых разливается в формы для изделий. До тепловлажностной обработки смесь выдерживают в формах. За это время пеномасса приобретает начальную прочность, не разрушаясь при встряхивании. Сократить время выдержки можно путем использования быстросхватывающихся цементов или путем введения добавок — ускорителей твердения.

По физико-механическим свойствам различают пенобетон теплоизоляционный, конструктивно-теплоизоляционный и конструктивный. Теплоизоляционный пенобетон отливается в виде блоков размером 100×50×50 см и больше, которые после затвердевания распиливают на плиты. Теплоизоляционный пенобетон имеет прочность до 2,5 МПа, теплопроводность — 0,1...0,2 Вт/(м·°C). Этот вид пенобетона применяют для теплоизоляции железобетонных покрытий, перегородок и т. д. Конструктивно-теплоизоляционный пенобетон имеет прочность 2,5...7,5 МПа,

теплопроводность 0,2...0,4 Вт/(м·°С), применяют его для ограждающих конструкций. Из конструктивного пенобетона изготавливают изделия для покрытий. Их армируют двумя сетками из проволоки диаметром 3...5 мм. Конструктивный пенобетон имеет прочность до 20 МПа и теплопроводность 0,4...0,6 Вт/(м·°С). Конструктивный пенобетон широко используют в трехслойных ограждающих конструкциях отапливаемых зданий.

Газобетон получают из смеси портландцемента, кремнеземистого компонента и газообразователя. Широкое применение в качестве газообразователя получила алюминиевая пудра, которая, реагируя с водным раствором гидроксида кальция, выделяет водород



вызывающий вспучивание цементного теста. Последнее, затвердевая, сохраняет пористую структуру.

В портландцементных бетонах гидроксид кальция образуется в результате гидролиза трехкальциевого силиката, для ускорения этого процесса в смесь добавляют известь до 10% от массы цемента.

Алюминиевую пудру для лучшего распределения в смеси применяют в виде водной суспензии. Так как алюминиевый порошок при изготовлении на заводе парафинируют и частицы алюминия не смачиваются водой, то для удаления пленки парафина алюминиевую пудру предварительно прокаливают в электропечах при температуре 200°С, чтобы исключить возможность воспламенения порошка или взрыва. Кроме того, для придания пудре гидрофильных свойств ее обрабатывают водным раствором СДБ, канифоли и др.

Для изготовления изделий из газобетона смесь молотого песка и воды смешивают в смесителе с цементом, алюминиевым порошком, водой и немолотым песком. Затем смесь разливают в формы.

В настоящее время на заводах страны для приготовления ячеистого бетона различных видов применяют современные виброгазобетоносмесители СМС-40 и гидродинамический смеситель ГДС-3. Эти машины обеспечивают хорошее перемешивание, они позволяют получать высокоомогенные и активированные смеси с пониженным содержанием воды затворения (до 35...40%), при этом продолжительность процесса приготовления смеси не превышает 3 мин.

Гидродинамический смеситель ГДС-3 (рис. 6.16) состоит из горизонтальной смесительной камеры с лопастным валом, активаторами, загрузочными устройствами, самоходного портала, питающего электроэнергией и системы управления.

Виброгазосмеситель СМС-40 (рис. 6.17) состоит из корпуса, вертикального вала с лопастями, вибрационной системы и самоходного портала. На внутренней поверхности корпуса смонтиро-

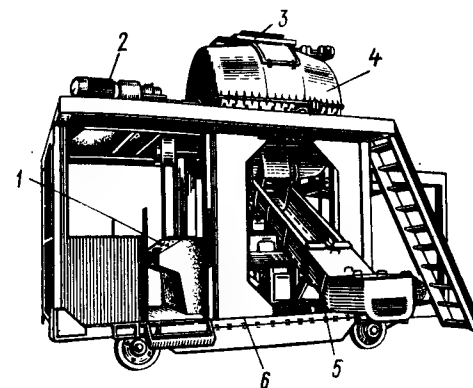


Рис. 6.16. Гидродинамический смеситель ГДС-3:

1 — пульт управления; 2 — привод смесителя; 3 — загрузочное устройство; 4 — горизонтальная смесительная камера; 5 — лоток; 6 — самоходный портал

ваны отбойные лопасти. По всей длине вала по винтовой линии установлены попарно лопасти, образующие двухлопастной пропеллер. Привод вертикального вала осуществляется снизу через клиноремennую передачу и конический редуктор. В конструкции вибрационного устройства предусмотрено регулирование частоты вибрации и амплитуды колебаний. Исходные материалы загружаются через люки, имеющиеся в крышке. Готовая смесь выгружается через затвор, под которым расположен лоток, предназначенный для заливки газобетонной смеси в форму.

Формование ячеисто-бетонных масс производят на виброплощадках со специальной бортоснасткой. После непродолжительной выдержки газобетон разрезают машиной СМ-1211 на мелкие блоки и направляют в автоклавы. Режим автоклавной обработки изделий поддерживается по заданной программе автоматической системой регулирования. Твердение изделий в автоклаве при температуре 175°С и давлении 0,8 МПа обеспечивает высокую прочность и позволяет существенно уменьшить расход цемента путем частичной или полной замены его известью. Из автоклавов изделия поступают в пакетах на склад готовой продукции.

По свойствам газобетон аналогичен пенобетону. Однако он проще в изготовлении и позволяет получать изделия более устойчивого качества.

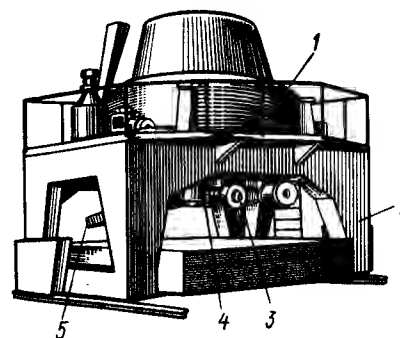


Рис. 6.17. Виброгазобетоносмеситель СМС-40:

1 — корпус; 2 — самоходный портал; 3 — привод вертикального вала; 4 — вертикальный вал; 5 — лоток

Способ производства ячеистых бетонов методом комплексной вибрации позволяет не только управлять процессом структурообразования, но и дает ряд технико-экономических преимуществ: интенсифицирует технологический процесс, улучшает свойства ячеистых бетонов, снижает влажность готовых изделий. Вследствие этого, а также возможности использования местного сырья (извести, песка, шлака и золы) изготовление автоклавного газобетона, газосиликата и газошлакобетона стало основным направлением развития производства ячеистых бетонов.

Блоки из ячеистых бетонов автоклавного твердения применяются для кладки наружных и внутренних стен и перегородок жилых, общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданий с относительной влажностью воздуха помещений не более 75%, а в наружных стенах при влажности более 60% должно наноситься с внутренней поверхности стен пароизоляционное покрытие. Применение блоков из ячеистых бетонов для цоколей и стен подвалов, а также стен помещений с мокрым режимом или наличием агрессивных сред не допускается.

§ 6.14. Экономика производства и применения легких бетонов

Снижение массы крупноразмерных бетонных изделий — одно из основных направлений технического прогресса в сборном строительстве.

Исследованиями, проведенными в НИИЭС Госстроя СССР, установлено, что технически возможный удельный вес легких бетонов в основных конструкциях полносборного строительства может составить примерно 60%. Суммарный объем выпуска легких бетонов к 1985 г. составил 26 млн. м³, а в ближайшей перспективе увеличится до 40...45 млн. м³, что предопределяет значительный рост объема производства пористых заполнителей.

Из табл. 6.5 видно, что применение облегченных стеновых конструкций позволяет снизить массу 1 м² стены с 1080...1250 до 175...560 кг, т. е. примерно в 2...7 раз (в зависимости от вида кирпичных и легкобетонных стен). Толщина ограждающих конструкций для принятых климатических условий сокращается с 52...66 до 25...40 см. Трудоемкость изготовления и монтажа конструкций уменьшается соответственно с 1,3...1,65 чел.-дн на 1 м² стены до 0,75...0,8 чел.-дн, т. е. на 30...55%. Стоимость смонтированных конструкций уменьшается (по перспективным данным) с 18,6 руб/м² стены из полнотелого керамического кирпича до 9,7...11,5 руб/м², причем наиболее значительное снижение этих затрат имеют конструкции стен из ячеистых и легких бетонов на пористых заполнителях пониженной плотности (300...350 кг/м³).

Объем капитальных вложений на развитие материально-технической базы строительства по конструкциям из пористых заполнителей примерно одинаков с кирпичными стенами, а по

Таблица 6.5. Перспективные технико-экономические показатели стеновых конструкций для жилых зданий на 1 м² стены при расчетной температуре — 31°С (данные НИИЭС Госстроя СССР)*

Наименование показателей	Стеновые конструкции									
	из однослойных панелей на искусственных пористых заполнителях			из ячеистого бетона			из штучного кирпича			
	керамзитобетон с керамзитом	аглопоритобетон на базе глины	шлакопемзобетон $\rho = 650$ кг/м ³	перлитобетон $q = 300$ кг/м ³	на основе цемента $q = 700$ кг/м ³	на основе извести $q = 700$ кг/м ³	обыкновенного керамического плотного	керамического эффективного сеченного	силикатного	
	$q = 350$ кг/м ³	$q = 550$ кг/м ³	$\rho = 690$ кг/м ³							
Плотность бетона, кг/м ³	900	1200	1400	1400	800	700	700	—	—	—
Толщина конструкций, см	26	32	40	35	25	25	25	66	52	56
Масса, кг	234	284	560	490	200	175	175	1185	1080	1250
Стоимость смонтированных сборных конструкций, руб.	11,54	13,1	15,5	11,8	11,2	10,4	9,8	18,5	15,5	13,9
Капитальные вложения, руб.	13,8	15,9	16,2	13,6	14,5	12,0	10,6	16,2	14,2	12,4
В том числе:										
на организацию производства конструкции	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,2	8,7	15,6	13,2	11,4
на организацию производства строительного сырья и полуфабрикатов	5,4	7,6	7,8	5,2	6,1	3,8	2,1	1,1	1,1	1,1
Приведенные затраты, руб.	13,2	15,1	17,4	13,5	12,9	11,8	11,0	20,5	17,2	15,3

* Показатели определены как расчетные перспективные с учетом прогрессивных проектов отрасли и фактических данных по передовым предприятиям. В целях сопоставимости в расчете приняты равные мощности предприятий по производству стеновых конструкций, одинаковые транспортные схемы по перевозке изделий, одинаковый уровень заводской готовности стеновых конструкций. Потребность в капитальных вложениях определена по нормативам удельных капитальных вложений.

ячеистым бетонам — на 15...20% меньше. При этом важным фактором, определяющим технико-экономическую эффективность применения газосиликатных панелей, является значительное уменьшение капитальных вложений на создание сырьевой базы для заводов силикатного домостроения.

В табл. 6.6 дается расчет на перспективу удельных капитальных вложений в сырьевую базу для производства панелей наружных стен из различных материалов. Из этих данных видно, что снижение капитальных вложений на развитие смежных отраслей для газосиликатных панелей обусловлено сокращением норм расхода вяжущих и уменьшением удельных капитальных вложений на производство извести (по сравнению с цементом) и песка (по сравнению со щебнем). В целом капитальные вложения на создание сырьевой базы крупнопанельного домостроения из ячеистых бетонов в 1,5...2,5 раза меньше, чем по другим видам крупнопанельного домостроения.

Таблица 6.6. Расчет удельных капитальных затрат на создание сырьевой базы для производства 1 м² панелей наружных стен

Вид сырья и полуфабрикатов	Панель							
	трехслойная железобетонная с минераловатным утеплителем		однослойная керамзитобетонная		однослойная ячеистая			
					на цементе		на извести (газосиликатная)	
	расход материалов	удельные капитальные вложения	расход материалов	удельные капитальные вложения	расход материалов	удельные капитальные вложения	расход материалов	удельные капитальные вложения
Цемент	34,0 кг	1,3	53,0	2,0	70,0	2,8	2,0	0,08
Известь	—	—	—	—	—	—	40,0	0,62
Щебень	0,06 м ³	0,5	—	—	—	—	—	—
Песок	0,04 м ³	0,16	0,20	0,8	0,08	0,3	0,7	0,20
Утеплитель	0,16 м ³	3,0	—	—	—	—	—	—
Прочие материалы	—	0,1	—	2,6	—	0,7	—	1,3
Итого	—	6,0	—	5,4	—	3,8	—	2,1

Перспективным является снижение массы крупноразмерных изделий путем применения легких бетонов на искусственных пористых заполнителях. Применение пористых заполнителей в производстве сборных элементов жилых домов дает значительный экономический эффект. Это подтверждено расчетами и опытом производства.

По данным НИИЭС, приведенные затраты на 1 м² конструкций стен жилых зданий из легких бетонов на 1,4 руб ниже, чем трехслойных из тяжелого бетона; экономия в расчете на 1 м³ легкого бетона составляет 4,6 руб. При изготовлении наружных стен промышленных зданий экономия приведенных затрат в расчете на 1 м³ легкого бетона составляет 3 руб.

Эффективно также применение легких бетонов при изготовлении несущих внутренних стен промышленных зданий. Экономия

приведенных затрат на 1 м² стены составляет 0,3 руб., что в расчете на 1 м³ легкого бетона дает экономический эффект по приведенным затратам 2,5 руб. Экономически эффективно применение легких бетонов при изготовлении несущих конструкций. Экономия приведенных затрат на 1 м² междуэтажного перекрытия составляет 0,7 руб., что в расчете на 1 м³ бетона (при приведенной толщине 10 см) дает экономию 7 руб.

Наибольший экономический эффект достигается при комплексном использовании легких бетонов во всех конструктивных элементах здания. Так, сметная стоимость 1 м² жилой площади в пятиэтажных домах из легкого бетона на 3...4% ниже, чем в аналогичном доме из тяжелого бетона. Применение легких бетонов в ограждающих и несущих конструкциях одноэтажного промышленного здания в сопоставлении с аналогичным зданием из тяжелого бетона позволяет снизить массу конструкций на 1/3, уменьшить трудоемкость изготовления на 5...6% и снизить приведенные затраты на 1 м² площади на 5...6%.

В связи с высокой экономической эффективностью легкие бетоны на пористых заполнителях за последние годы во всех развитых странах нашли применение в гражданском, промышленном, гидротехническом строительстве.

В СССР наиболее широко легкие бетоны применяют в жилищном строительстве для изготовления стеновых панелей (наружных и внутренних стен) и перекрытий размером на комнату, крупных и мелких блоков для возведения наружных и внутренних стен, т. е. для изготовления таких конструкций, где наиболее рационально используются прочностные и теплоизоляционные свойства легких бетонов. В меньшей мере легкие бетоны применяют в несущих конструкциях, хотя, как показали практика строительства и расчеты экономической эффективности, использование их выгодно и в несущих конструкциях больших пролетов.

Характерной особенностью в развитии производства легких бетонов является постепенное снижение доли низкомарочных бетонов в общем их выпуске, расширение сырьевой базы для производства пористых заполнителей, повышение коэффициента конструктивного качества легкого бетона.

ГЛАВА 7

СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

● **Строительным раствором** называют отвердевшую смесь **вяжущего вещества, мелкого заполнителя (песка) и воды**. По своему составу строительный раствор является мелкозернистым бетоном, и для него справедливы закономерности, присущие бетонам. Среди большого разнообразия растворов отдельные виды их имеют много общего. В основу групповой классификации положены следующие ведущие признаки: плотность, вид вяжущего вещества, назначение и физико-механические свойства растворов.

§ 7.1. Классификация строительных растворов

По **плотности** в сухом состоянии растворы делят: на *тяжелые* с плотностью 1500 кг/м^3 и более, для их изготовления применяют тяжелые кварцевые или другие пески; *легкие* растворы, имеющие плотность менее 1500 кг/м^3 , заполнителями в них являются легкие пористые пески из пемзы, туфов, шлаков, керамзита и других легких мелких заполнителей.

По **виду вяжущего** строительные растворы бывают: *цементные*, приготовленные на портландцементе или его разновидностях; *известковые* — на воздушной или гидравлической извести, *гипсовые* — на основе гипсовых вяжущих веществ — гипсового вяжущего, ангидритовых вяжущих; *смешанные* — на цементно-известковом вяжущем. Выбор вида вяжущего производят в зависимости от назначения раствора, предъявляемых к нему требований, температурно-влажностного режима твердения и условий эксплуатации здания или сооружения.

По **назначению** строительные растворы делят: на кладочные для каменных кладок и кладки стен из крупных элементов; отделочные для штукатурки, изготовления архитектурных деталей, нанесение декоративных слоев на стеновые блоки и панели; специальные, обладающие некоторыми ярко выраженными или особыми свойствами (акустические, рентгенозащитные, тампонажные и т.д.). Специальные растворы имеют узкое применение.

По **физико-механическим свойствам** растворы классифицируют по двум важнейшим показателям: прочности и морозостойкости, характеризующим долговечность раствора. По величине прочности при сжатии строительные растворы подразделяют на восемь марок: 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150 и 200. Растворы М4 и 10 изготавливают на местных вяжущих (воздушной и гидравлической извести и др.). По степени морозостойкости в циклах замораживания растворы имеют девять марок морозостойкости: от F10 до F300.

Состав раствора обозначают количеством (по массе или объему) материалов на 1 м^3 раствора или относительным соотношением (также по массе или объему) исходных сухих материалов. При этом расход вяжущего принимают за 1. Для простых растворов, состоящих из вяжущего и не содержащих минеральных добавок (цементных или известковых растворов), состав будет обозначен, например, 1:6, т. е. на 1 ч. вяжущего приходится 6 ч. песка. Состав смешанных растворов, состоящих из двух вяжущих или содержащих минеральные добавки, обозначают тремя цифрами, например 1:0,4:5 (цемент:известь:песок). Однако следует учитывать, что в цементных смешанных растворах за вяжущее принимают цемент совместно с известью.

В **качестве мелкого заполнителя** применяют: для тяжелых растворов — кварцевые и полевошпатовые природные пески, а также пески, полученные дроблением плотных горных пород; для легких растворов — пемзовые, туфовые, ракушечные, шлаковые пески. Для обычной кладки кирпича, камней правильной формы, в том числе и блоков, наибольший размер зерен песка не должен превышать 2,5 мм; для бутовой кладки, а также замоноличивания стыков сборных железобетонных конструкций и для песчаного бетона — не более 5 мм; для отделочного слоя штукатурки — не более 1,2 мм.

Минеральные и органические добавки применяют для получения удобоукладываемой растворной смеси при использовании портландцементов. В качестве эффективных минеральных добавок в цементные растворы вводят известь в виде теста. Добавка извести в цементных растворах повышает водоудерживающую способность, улучшает удобоукладываемость и дает экономию цемента. В качестве неорганических дисперсных добавок применяют активные минеральные добавки — диатомит, трепел, молотые шлаки и т. д.

Поверхностно-активные добавки используют для повышения пластичности растворной смеси и уменьшения расхода вяжущего, вводят в растворы десятые и сотые доли процента от количества вяжущих. В качестве поверхностно-активной органической добавки применяют сульфитно-дрожжевую бражку (СДБ), гидролизованную боенскую кровь (ГК), мылонафт, гидрофобно-пластифицирующую добавку «флегматор» и др.

Требования к качеству вяжущих, заполнителей, добавок и воды такие же, как и к материалам, применяемым для приготовления бетонов.

§ 7.2. Свойства строительных растворов

Основными свойствами растворной смеси являются подвижность, удобоукладываемость, водоудерживающая способность, а растворов — прочность и долговечность.

Растворная смесь в зависимости от состава может иметь различную консистенцию — от жесткой до литой. Строительные

растворы для каменной кладки, отделки зданий и других работ изготовляют достаточно подвижными.

● **Подвижность растворной смеси определяют глубиной погружения в смесь металлического конуса массой 300 г с углом при вершине 30°.**

● **Удобоукладываемость** — способность легко, с минимальной затратой энергии укладываться на основание тонким, равномерным по плотности слоем, прочно сцепляющимся с поверхностью основания. Растворная смесь, приготовленная на одном портландцементе, часто содержит мало цементного теста и получается жесткой, неудобоукладываемой. В таких случаях применяют добавки минеральных или органических поверхностно-активных пластификаторов из рассмотренных выше.

● **Водоудерживающая способность** характеризуется свойством раствора не расслаиваться при транспортировании и сохранять достаточную влажность в тонком слое на пористом основании. Растворная смесь, имеющая низкую водоудерживающую способность, при транспортировании расслаивается, а при укладке на пористое основание (керамический кирпич, бетон, дерево,) быстро отдает ему воду. Степень обезвоживания раствора может оказаться столь значительной, что воды будет недостаточно для твердения раствора и он не достигнет необходимой прочности. Повышают водоудерживающую способность минеральные и органические пластификаторы.

● **Прочность затвердевшего раствора** зависит от активности вяжущего вещества и величины цементно-водного отношения. Прочность (R_a) растворов на портландцементе определяют по формуле проф. Н. А. Попова:

$$R_p = 0,25R_a (\text{Ц/В} - 0,4),$$

где R_a — активность цемента, Па ; Ц/В — цементно-водное отношение.

Приведенная формула верна для растворов, уложенных на плотное основание; при пористом основании, которое отсасывает из раствора воду и уплотняет этим раствор, прочность увеличивается примерно в 1,5 раза.

Прочность (Па) растворов зависит также от расхода цемента и качества песка:

$$R_p = kR_a (\text{Ц} - 0,05) + 4,$$

где k — коэффициент, для мелкого песка $k=1,4$, для среднего $k=1,8$ и для крупного $k=2,2$; Ц — расход цемента, т/м^3 песка.

Прочность смешанных растворов зависит также от вводимых в них тонкомолотых добавок. Каждый состав цементного раствора имеет свое оптимальное значение добавки, при которой смесь обладает наилучшей удобоукладываемостью и дает раствор наибольшей прочности.

● **Прочность раствора** характеризуется, как отмечалось, маркой. Марка раствора обозначается по пределу прочности при

сжатии образцов размером $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм, изготовленных из рабочей растворной смеси на водоотсасывающем основании после 28-суточного твердения их при температуре $15...25^\circ\text{C}$. Средняя относительная прочность цементных растворов (в том числе смешанных), твердеющих в условиях нормального влажностного режима при температуре $15...25^\circ\text{C}$ в возрасте 3 суток, составляет 0,25 от марочной 28-суточной прочности, в возрасте 7 суток — 0,5; 14 сут — 0,75; 60 сут — 1,2 и в 90 суточном возрасте — 1,3. Если твердение цементных и смешанных растворов происходит при температуре, отличной от 15°C , то относительную прочность этих растворов принимают по специальным таблицам.

При использовании растворов, изготовленных на шлакопортландцементе и пуццолановом портландцементе, следует учитывать замедление нарастания прочности при температуре твердения ниже 10°C . В целях экономии вяжущего для приготовления растворов на цементах высоких марок необходимо вводить минеральные тонкомолотые добавки.

§ 7.3. Растворы для каменной кладки

Составы кладочных растворов и вид исходного вяжущего зависят от характера конструкций и условий их эксплуатации.

Растворы для каменных кладок и для кладки крупных элементов стен и их монтажа готовят на вяжущих следующих видов: на портландцементе и шлакопортландцементе — для монтажа стен из панелей и крупных бетонных и кирпичных блоков, для изготовления виброкирпичных панелей и крупных блоков, для обычной кладки на растворах высоких марок, а также для кладки, выполняемой способом замораживания; на основе извести, если не требуются растворы высоких марок, и местных вяжущих (известково-шлаковых и известково-пуццолановых) — для малоэтажного строительства; растворы на местных вяжущих не следует применять при температуре ниже 10°C ; на пуццолановом и сульфатостойком портландцементе применяют для конструкций, работающих в условиях воздействия агрессивных и сточных вод.

Строительные кладочные растворы изготовляют трех видов: цементные, цементно-известковые и известковые.

● **Цементные растворы** применяют для подземной кладки и кладки ниже гидроизоляционного слоя, когда грунт насыщен водой, т. е. в тех случаях, когда необходимо получить раствор высокой прочности и водостойкости.

● **Цементно-известковые растворы** представляют собой смесь цемента, известкового теста, песка и воды. Эти растворы обладают хорошей удобоукладываемостью, высокой прочностью и морозостойкостью. Цементно-известковые растворы применяют для возведения подземных и надземных частей зданий.

● **Известковые растворы** обладают высокой пластичностью и удобоукладываемостью, хорошо сцепляются с поверхностью,

имеют малую усадку. Они отличаются довольно высокой долговечностью, но являются медленно твердеющими. Известковые растворы применяют для конструкций, работающих в надземных частях зданий, испытывающих небольшое напряжение. Состав известковых растворов зависит от качества применяемой извести.

Подвижность кладочных растворов принимают в зависимости от их назначения и способа укладки в следующих пределах: для заполнения горизонтальных швов при монтаже стен из бетонных и виброкирпичных панелей и для расшивки вертикальных и горизонтальных швов — 5...7 см; для изготовления крупных блоков из кирпича, заполнения горизонтальных швов при монтаже стен из бетонных блоков, блоков из кирпича, бетонных камней и камней из легких пород (туфы и др.) — 9...13 см; для бутовой кладки — 4...6 см, а для заливки пустот в ней — 13...15 см.

Расход цемента на 1 м³ песка при подборе состава раствора устанавливают в зависимости от требуемой долговечности и условий эксплуатации 75 кг в цементно-известковых растворах. Для надземной кладки с относительной влажностью воздуха помещений свыше 60% и кладки фундаментов во влажных грунтах расход цемента в цементно-известковых растворах должен составлять не менее 100 кг. Указанные расходы цемента относятся к песку в рыхло-насыщенном состоянии при естественной влажности 1...3%.

Кладочные растворы готовят на песке для кладки стен из камней правильной формы крупностью до 2,5 мм, а для бутовой кладки из бутовых камней — до 5 мм.

Для получения растворов необходимой подвижности и водостойкости в их состав вводят неорганические или органические пластификаторы. Применение добавок для кладки ниже наивысшего уровня грунтовых вод не допускается.

Для каменной кладки наружных стен используют цементно-известковые растворы марок: для зданий при относительной влажности воздуха помещений 60% и менее — не ниже М10; при повышении влажности до 75% марка раствора должна быть не менее М25, а при влажности 75% и более — не менее М50.

Для подземной каменной кладки и кладки цоколей ниже гидроизоляционного слоя используют цементные и цементно-известковые растворы не ниже М25...50. При армированной кладке стен марка растворов по прочности должна быть: в сухих условиях эксплуатации (относительная влажность воздуха помещений до 60%) — не менее М25, а во влажных (относительная влажность воздуха помещений выше 60%) — не менее М50. Для кладки столбов, простенков, карнизов, перемычек, сводов и других частей зданий применяют растворы М25...50. Для заполнения горизонтальных швов при монтаже стен из панелей используют растворы не ниже М100 для панелей из тяжелого бетона и не ниже М50 для панелей из легкого бетона.

При кладке стен из панелей, крупных блоков и обычной ка-

менной кладки в зимних условиях марка раствора по прочности назначается в зависимости от температуры наружного воздуха и с учетом несущей способности конструкции. В растворы, применяемые при монтаже стен из бетонных и виброкирпичных панелей и крупных блоков в зимних условиях широко применяют химические добавки, понижающие температуру замерзания раствора и ускоряющие набор его прочности, вводят поташ в количестве 10...15% от массы воды затворения, нитрит натрия 5...10% (чаще) и др.

§ 7.4. Отделочные растворы

Различают отделочные растворы — обычные и декоративные. ● **Отделочные растворы готовят на цементах, цементно-известковых, известковых, известково-гипсовых вяжущих.** В зависимости от области применения отделочные растворы делят на растворы для наружных и внутренних штукатурок. Составы отделочных растворов устанавливают с учетом их назначения и условий эксплуатации. Эти растворы должны обладать необходимой степенью подвижности, иметь хорошее сцепление с основанием и мало изменяться в объеме при твердении, чтобы не вызывать образования трещин штукатурки.

Подвижность отделочных растворов и предельная крупность применяемого песка для каждого слоя штукатурки различны. Подвижность раствора для подготовительного слоя при механизированном нанесении составляет 6...10 см, а при ручном нанесении — 8...12 см. Наибольшая крупность песка при этом не должна превышать 2,5 мм. Отделочные слои растворов, содержащих гипс, должны иметь большую подвижность (9...12 см), чем растворы без гипса (7...8 см). Для регулирования сроков схватывания в гипсовые растворы вводят замедлители твердения. Для отделочного слоя применяют мелкие пески крупностью не более 1,2 мм. Для увеличения подвижности штукатурных растворов вводят органические пластификаторы.

Для наружных штукатурок каменных и монолитных бетонных стен зданий с относительной влажностью воздуха помещений до 60% применяют цементно-известковые растворы, а для деревянных и гипсовых поверхностей в районах с устойчиво сухим климатом — известково-гипсовые растворы. Для наружной штукатурки цоколей, поясков, карнизов и других участков стен, подвергающихся систематическому увлажнению, используют цементные и цементно-известковые растворы на портландцементе. Для внутренней штукатурки стен и перекрытий здания при относительной влажности воздуха помещений до 60% применяют известковые, гипсовые, известково-гипсовые и цементно-известковые растворы.

● **Декоративные цветные растворы используют для заводской отделки лицевых поверхностей стеновых панелей и крупных блоков, для отделки фасадов зданий и элементов городского благо-**

устройства, а также для штукатурок внутри общественных зданий. Декоративные растворы, применяемые для отделки железобетонных панелей, должны быть не менее М150, а для отделки панелей из легких бетонов — не менее М50; для штукатурки фасадов зданий — не менее М50. Марка отделочных растворов по морозостойкости должна быть не менее F 35; водопоглощение растворов с заполнителями из кварцевого песка — не более 8%, а растворов с заполнителями из пород с пределом прочности ниже 40 МПа — не более 12%.

Для приготовления декоративных растворов в качестве вяжущих применяют: портландцементы (обычный, белый и цветной) — для отделки слоистых железобетонных панелей и панелей из бетонов на легких пористых заполнителях; известь или портландцемент (обычный, белый и цветной) — для лицевой отделки панелей из силикатного бетона и для цветных штукатурок фасадов зданий; известь и гипс — для цветных штукатурок внутри зданий.

В качестве заполнителей для цветных декоративных растворов используют промытый кварцевый песок и песок, получаемый дроблением гранита, мрамора, доломита, туфа, известняка и других белых или цветных горных пород. Для придания отделочному слою блеска в состав раствора вводят до 1% слюды или до 10% дробленого стекла. В качестве красителей применяют щелочестойкие и светостойкие природные и искусственные пигменты (охру, сурик железный, мумию, оксид хрома, ультрамарин и др.).

Подбор состава декоративного раствора производят опытным путем.

Подвижность декоративных растворов аналогична подвижности растворов для обычной штукатурки. Подвижность декоративных растворов для отделки панелей и крупных блоков устанавливают техническими условиями на изготовление этих изделий. Подвижность, водоудерживающая способность и атмосферостойкость декоративных цветных растворов могут быть повышены введением гидрофобизирующих добавок (мылонафта) или пластифицирующей добавки СДБ. Иногда применяют сухие растворные смеси, которые на месте работ затворяют водой.

§. 7.5. Специальные растворы

● К специальным относятся растворы для заполнения швов между элементами сборных железобетонных конструкций, инъекционные растворы, растворы для полов, гидроизоляционные, тампонажные, акустические и рентгенозащитные.

● Растворы для заполнения швов между элементами сборных железобетонных конструкций готовят на портландцементе и кварцевом песке подвижностью 7...8 см. Растворы, воспринимающие расчетную нагрузку, должны иметь марку, равную прочности бетона соединяемых конструкций, а растворы, не воспри-

нимающие расчетную нагрузку, — не менее М100. В тех случаях, когда в швах имеется арматура или закладные детали, растворы не должны содержать добавок, вызывающих коррозию металла, в частности хлористого кальция.

● Инъекционные растворы представляют собой цементно-песчаные растворы или цементное тесто, применяемое для заполнения каналов предварительно напряженных конструкций. К инъекционным растворам предъявляются повышенные требования по прочности (не менее М300), водоудерживающей способности и морозостойкости. Для уменьшения вязкости раствора используют добавки СДБ или мылонафта в количестве до 0,2% от массы цемента. Для инъекционных растворов применяют цемент М400 и выше.

● Гидроизоляционные растворы готовят на цементах повышенных марок (400 и выше) и кварцевом песке или искусственно полученном песке из плотных горных пород. Для устройства гидроизоляционного слоя, подвергающегося воздействию агрессивных вод, в качестве вяжущих для раствора применяют сульфатостойкий портландцемент и сульфатостойкий пуццолановый портландцемент. Ориентировочный состав растворов для гидроизоляционной штукатурки 1:2,5 или 1:3,5 (цемент:песок по массе). Для заделки трещин и каверн в бетоне и для устройства штукатурки по бетону или каменной кладке путем торкретирования или обычным способом используют цементные растворы с добавками полимеров или битумных эмульсий. При необходимости обеспечить водонепроницаемость швов и стыков в сооружениях применяют гидроизоляционные растворы, приготовленные на водонепроницаемом расширяющемся цементе.

● Тампонажные растворы применяют для тампонирования нефтяных скважин. Они должны обладать высокими однородностью, водостойкостью, подвижностью; сроками схватывания, соответствующими условиями нагнетания раствора в скважину; достаточной водоотдачей под давлением с образованием в трещинах и пустотах горных пород плотных водонепроницаемых тампонов прочностью, противостоящей напору подземных вод, стойкостью в агрессивной среде. В качестве вяжущих для тампонажных растворов применяют портландцемент, при агрессивных водах — шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент и сульфатостойкий портландцемент, а при наличии напорных вод — тампонажный портландцемент. Состав тампонажных растворов назначают в зависимости от гидрогеологических условий типа крепи и способа ведения тампонажных работ. При проходке горных выработок с замораживанием и креплением бетоном используют цементно-песчано-суглинистые растворы с добавкой до 5% хлористого кальция.

● Акустические растворы применяют в качестве звукопоглощающей штукатурки для снижения уровня шумов. Их плотность 600...1200 кг/м³. В качестве вяжущих используют портландцемент, шлакопортландцемент, известь, гипс или их смеси и каустический

магнезит. Заполнителями служат однофракционные пески крупностью 3...5 мм из легких пористых материалов: пемзы, шлаков, керамзита и др. Количество вяжущего и зерновой состав заполнителя в акустических растворах должны обеспечивать открытую незамкнутую пористость раствора.

● **Рентгенозащитные растворы применяют для штукатурки стен и потолков рентгеновских кабинетов.** В качестве вяжущих используют портландцемент и шлакопортландцемент, а в качестве заполнителей — барит и другие тяжелые породы в виде песка крупностью до 1,25 мм и пыли. Для улучшения защитных свойств в рентгенозащитные растворные смеси вводят добавки, содержащие легкие элементы: водород, литий, кадмий и борсодержащие вещества.

§ 7.6. Приготовление строительных растворов

● **Строительные растворы готовят двух видов: в виде готовых растворных смесей необходимой подвижности и сухих растворных смесей, требующих перед употреблением смешивания с водой и в необходимых случаях введения специальных добавок.**

Строительные растворы готовят в централизованном порядке на бетонорастворных заводах или растворосмесительных узлах (рис. 7.1). Приготовление растворов на механизированных объектных или передвижных установках производят лишь при малых объемах работ и отдаленном расположении централизованного производства раствора. Целесообразность изготовления и поставки сухих растворных смесей устанавливают с учетом условий перевозки и производства работ.

Составы растворов для получения заданной марки следует подбирать любым обоснованным способом, обеспечивающим получение заданной прочности раствора к определенному сроку твердения при наименьшем расходе цемента. При этом необходимо

обеспечивать подвижность и водоудерживающую способность растворной смеси, соответствующие условиям применения раствора. Подобранный состав уточняется контрольными испытаниями.

Дозирование вяжущих материалов производят по массе. Сухие растворные смеси с известью-пушонкой, без цемента и активных минеральных добавок можно готовить на песке с естественной влажностью, а при введении цемента или активных минеральных добавок — только с просушенными песком или добавками.

Приготовление раствора производят в растворосмесителях периодического и непрерывного действия. Продолжительность перемешивания обычных растворов — 1,5...2,5 мин, легких растворов — 2,5...3,5 мин и растворов с гидравлическими и другими добавками — до 5 мин. В смесителях новейших конструкций продолжительность перемешивания растворов составляет всего 30...40 с.

В настоящее время товарные растворы готовят централизованно на специальных установках, и на стройку они поступают в виде сухих смесей или готовых растворов определенной консистенции, марки и качества. Строительные растворы перевозят в специально оборудованных автоцистернах с автоматической разгрузкой или автосамосвалах; на строительных площадках растворы транспортируют растворонасосами. Для предохранения растворов от расслаивания автомобили оборудуют смесителями.

Для предотвращения преждевременного схватывания растворных смесей (при транспортировании и хранении) в них вводят добавки — замедлители схватывания.

Контроль качества при проверке исходных материалов заключается в проверке качества исходных материалов, их дозирования и времени перемешивания. Кроме того, определяют удобоукладываемость и прочность раствора в определенные сроки твердения.

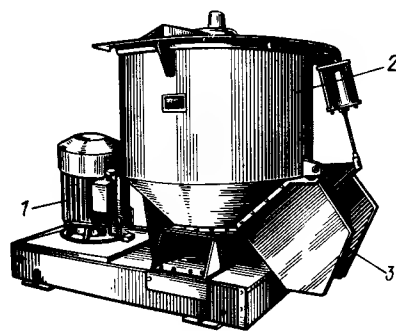


Рис. 7.1. Турбулентный растворосмеситель СБ-81:

1 — электродвигатель; 2 — цилиндрический бак; 3 — разгрузочный люк

ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

● Искусственные каменные изделия получают из растворных или бетонных смесей на основе минеральных вяжущих веществ в процессе их формования и последующего затвердевания. В качестве заполнителей для этих смесей применяют кварцевый песок, пемзу, шлак, золу, древесные опилки. Для повышения прочности при изгибе изделия армируют волокнистыми материалами — асбестом, древесной (в виде шерсти, дробленых отходов), бумажной макулатурой, листовой бумагой и др.

Искусственные каменные изделия по виду минерального вяжущего можно разделить на следующие четыре группы: гипсовые и гипсобетонные; изделия на основе магнезиальных вяжущих; силикатные; асбестоцементные, изготавливаемые на основе портландцемента с добавкой асбеста.

8.А. ГИПСОВЫЕ И ГИПСОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

§ 8.1. Общие сведения о гипсовых и гипсобетонных изделиях

● Изделия на основе гипса можно получать как из гипсового теста, т. е. из смеси гипса и воды, так и из смеси гипса, воды и заполнителей. В первом случае изделия называют гипсовыми во втором — гипсобетонными. Вяжущими для изготовления гипсовых и гипсобетонных изделий в зависимости от их назначения служат гипсовое вяжущее, водостойкие гипсоцементно-пуццолановые смеси, а также ангидритовые цементы. В качестве заполнителей в гипсобетоне используют естественные материалы — песок, пемзу, туф, топливные и металлургические шлаки, а также легкие пористые заполнители промышленного изготовления — шлаковую пемзу, керамзитовый гравий, аглопорит и др. Органическими заполнителями (их называют еще наполнителями) являются древесные опилки, стружка или шерсть, бумажная макулатура, стебли и волокно камыша, льняная костра и др.

Для получения высокопористых теплоизоляционных гипсовых изделий — газогипса — в состав гипсовой массы вводят газообразующие добавки — разбавленную серную кислоту и углекальциевые соли, едкий натр и пероксид водорода, при взаимодействии которых с гипсом выделяется газ, вспучивающий гипсовую массу.

Наряду с рядом положительных технических свойств гипс

обладает значительной хрупкостью, поэтому производят искусственное упрочнение гипсовых изделий (особенно тонкостенных) путем применения армирующих материалов (волоконистых), вводимых в состав формовочной массы или являющихся частями конструкции самого изделия. Так, в гипсокартонных листах роль арматуры выполняет картонная оболочка, в прокатных перегородочных гипсобетонных панелях — деревянные рейки. Роль арматуры могут также выполнять металлические стержни, проволока или сетка, однако следует иметь в виду, что стальная арматура в гипсовых изделиях подвергается коррозии, поэтому ее применять без защитного слоя нельзя. В качестве арматуры могут также использоваться органические волокна, равномерно распределенные в самой формовочной массе.

По назначению гипсовые и гипсобетонные изделия делят: на панели и плиты перегородочные; листы обшивочные; плиты теплоизоляционные; камни для наружных стен; изделия для перекрытий; изделия огнезащитные; архитектурные детали.

Изделия из гипса могут быть сплошными и пустотелыми, армированными и неармированными.

Гипсовые изделия имеют ряд ценных качеств: сравнительно небольшая плотность, негоряемы, обладают хорошей звукоизоляцией и т. д. К числу недостатков гипсовых изделий следует отнести значительное понижение прочности при увлажнении, высокую ползучесть под нагрузкой, особенно при увлажнении.

Изделия на основе гипса допускается применять в условиях, исключающих систематическое увлажнение, и в помещениях с относительной влажностью воздуха не более 60%. Для повышения влаго- и водостойкости изделия покрывают водонепроницаемыми защитными красками или пастами (масляными, казеиновыми), а также применяют добавки к гипсу молотого доменного гранулированного шлака и пуццоланового портландцемента. В последнем случае получают довольно водостойкие гипсовые изделия на вяжущем, называемом гипсоцементно-пуццолановым.

Гипсовые и гипсобетонные изделия формуют различными способами: литьем, вибрированием, прессованием, прокатом, — в процессе которых изделия быстро приобретают значительную прочность. Технологический процесс производства изделий из гипсовых или гипсобетонных смесей состоит из следующих операций: дозирования всех компонентов формовочной массы (вяжущего, заполнителей, воды и материалов, регулирующих сроки схватывания гипса); приготовления растворной и бетонной смеси; формования изделий; твердения — сушки до воздушно-сухого состояния.

§ 8.2. Гипсобетонные панели для перегородок

● К гипсовым крупноразмерным изделиям относятся перегородочные плиты и панели, получаемые из гипсобетонных и гипсоволокнистых масс, панели для санитарных узлов и кабин,

получаемые на основе водостойкого гипсоцементно-пуццоланового вяжущего, плиты для настила полов под линолеум, вентиляционные блоки и др.

Гипсобетонные панели применяют для устройства ненесущих перегородок в жилых, общественных и производственных зданиях с относительной влажностью воздуха не более 60%.

Для жилищного строительства панели изготавливают как сплошными, так и с проемами для дверей и фрамуг размером «на комнату» высотой до 3 м и длиной 6 м, толщиной 80 и 100 мм. Прочность панелей при сжатии гипсобетона должна быть не менее 3,5 МПа, влажность в поверхностных слоях на глубине до 2 см и при отпуске потребителю — не более 8%.

При изготовлении перегородочных панелей предъявляются в основном требования по звукоизоляции и прочности. Этим требованиям удовлетворяет гипсобетон плотностью 1250...1400 кг/м³, получаемый при равных соотношениях по объему гипса, песка и опилок (1:1:1). Заполнителями могут также служить шлак, зола, сечка, солома, камыш.

Панели из гипсобетона изготавливают методом непрерывного формования на прокатных станах и в кассетах.

Производство крупноразмерных гипсобетонных перегородочных панелей методом непрерывного проката благодаря высоким технико-экономическим показателям получило широкое распространение. Гипсобетонную смесь готовят в дозирочно-смесительном отделении формовочного цеха (рис. 8.1), где имеется четыре бункера: два для гипса и по одному для песка и опилок. Отдозированные материалы поступают в приемный лоток для сухого смешивания, а оттуда в гипсобетоносмеситель непрерывного действия для перемешивания с водой и замедлителем схватывания. Затем приготовленная гипсобетонная масса поступает для формования на прокатную установку. Заранее приготовленные из деревянных реек арматурные каркасы укладывают на ленту прокатного стана (см. рис. 8.1, участок 1) и подают

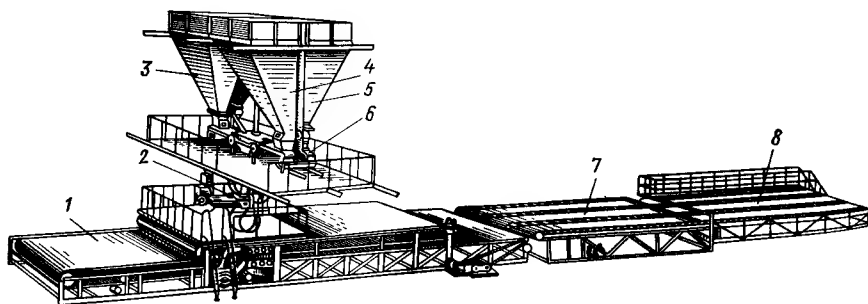


Рис. 8.1. Технологическая схема производства гипсобетонных панелей методом проката:

1 — прокатный агрегат; 2 — растворосмеситель; 3, 4, 5 — бункера гипса, песка и опилок; 6 — дозатор; 7 — обгонный рольганг; 8 — кантователь

к шнеку — укладчику бетонной смеси, равномерно распределяющему по ширине панели гипсобетонную массу. Под шнеком укладчиком лента опирается на балку с двумя периодически включаемыми вибраторами, что обеспечивает лучшее распределение массы.

На прокатном стане гипсобетонная масса, равномерно распределенная между резиновыми лентами двух движущихся в одном направлении с одинаковой скоростью транспортеров (нижнего, несущего реечный каркас, и верхнего уплотняющего и сглаживающего массу), проходит через щель между прокатными (калибрующими) валками, которые прессуют массу и придают панели окончательные размеры по толщине. Калибрующие валки не соприкасаются с гипсобетоном, так как находятся один под нижней, а другой над верхней лентами транспортера. При дальнейшем движении панели между нижней и верхней лентами, а затем на одной ленте гипсобетонная масса схватывается. Сформованная панель поступает на обгонный рольганг, движущийся с большей скоростью, чем скорость передвижения панели на стане. Рольганг транспортирует панель на опрокидыватель (кантователь), который поворачивается на угол 85°. Панель снимается и устанавливается в кассетную сушильную вагонетку, отправляемую затем в туннельные сушила. Сушат панели дымовыми газами или нагретым воздухом. Температура теплоносителя при входе 110...130°C, длительность сушки 20...26 ч. Высушенные панели отправляют автопанелевозами на строительные площадки или хранят в вертикальном положении.

В настоящее время для сушки строительных плитных изделий и конструкций, изготавливаемых на прокатном стане, применяют автоматизированные конвейерные линии импульсно-вакуумной сушки. Линия состоит из пульсирующего конвейера и стационарных постов, оборудованных вакуумными термощитами. При подаче изделия на пост вакуумные термощиты прижимаются по периметру через уплотнительные прокладки.

Сушку осуществляют при периодическом чередовании на поверхности изделия импульсов нагрева и разрежения. Материал сохнет равномерно по сечению с постоянной скоростью, что исключает возможность возникновения опасных напряжений. Контроль и регулирование процесса ведут в зависимости от температуры поверхности изделия и глубины вакуума, создаваемого в полости термовакуумных щитов. По окончании сушки производят контрольное взвешивание пластин. Производительность линии 600 000 м²/год; при толщине изделия в 8 см длительность сушки 90...120 мин.

Изготовление панелей в вертикальных формах-кассетах состоит из тех же основных операций, что и при прокатном способе, т. е. из приготовления бетонной смеси, реечных каркасов, формовки и сушки изделий. Отличие заключается в применяемом формовочном оборудовании. Процесс изготовления панелей в кассетах периодический, что несколько снижает технико-

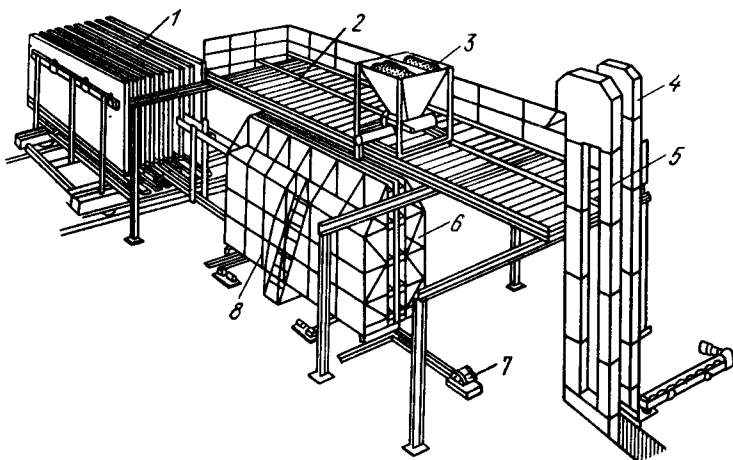


Рис. 8.2. Установка для производства крупноразмерных гипсошлаковых панелей в вертикальной форме:

1 — склад-тележка с готовыми панелями; 2 — площадка; 3 — гипсобетоносмеситель; 4 — элеватор для гипса; 5 — элеватор для шлака; 6 — неподвижная стенка; 7 — электро-лебедка; 8 — подвижная стенка

экономические показатели этого способа по сравнению с прокатными. Установка (рис. 8.2) состоит из кассетной формы, гипсосмесителя непрерывного действия и поддона. Общий цикл изготовления панели в кассетных формах около 1 ч, а на прокатном стане — 15...20 мин.

§ 8.3. Гипсовые плиты для перегородок

● Гипсовые плиты для перегородок (рис. 8.3) выпускают сплошные и пустотелые размером 800×400 мм, толщиной 80...100 мм. Гипсовые плиты поддаются механической обработке, гвоздятся, огнестойки, обладают высокими звукоизоляционными свойствами, гигроскопичны — водопоглощение составляет около 20%. Свойства плит при повышенной влажности ухудшаются. Использование плит разрешается при относительной влажности воздуха не более 70%.

При небольшом объеме производства гипсовые перегородочные плиты изготовляют в разборных формах-вагонетках. На крупных механизированных заводах изготовление плит ведут на высокопроизводительных карусельных формовочных машинах (рис. 8.4), работающих на быстротвердеющей массе. Конец схватывания гипса должен наступать не позднее 5...6 мин, поэтому в состав гипсовой массы вводят ускорители схватывания в виде двуводного гипса (2...3%). Воду подогревают до 35...40°C, что ускоряет схватывание гипса и сокращает длительность сушки изделий. Составляющие материалы (гипс, древесные опилки, замедлитель схватывания) со склада поступают в бункера, а затем через дозирующие устройства — в винтовой смеситель и

далее в быстроходный горизонтальный гипсосмеситель, где перемешиваются сначала в сухом состоянии, а затем с водой до получения массы необходимой консистенции. Из гипсосмесителя готовая масса через воронку равномерно распределяется в ячейки двояной формы. Карусель имеет 28 двояных форм, которые, предварительно покрытые масляной эмульсией, заполняются гипсовым тестом и движутся до полного поворота формовочного стола. За это время гипс схватывается, приобретая прочность, позволяющую выталкивать плиту из формы. Для облегчения выталкивания стенки формы раскрываются. После освобождения формы выталкиватель принимает первоначальное положение, стенки формы закрываются, форма очищается и смазывается и цикл снова повторяется. Производительность карусельной машины до 600 пл./ч.

Отформованные плиты укладывают ребром на сушильные вагонетки и направляют в сушила. Сушат плиты дымовыми газами или нагретым в калориферах горячим воздухом. Более экономична сушка дымовыми газами. Температура дымовых газов, поступающих в сушила, составляет 110...130°C, а отработанных при выходе из сушила — 40—50°C. Обычно плиты сушат в туннельном сушиле с рециркуляционной системой. Вагонетки с плитами передвигаются по камере из зоны с температурой

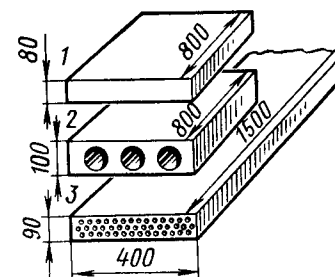


Рис. 8.3. Перегородочные плиты на основе гипса:

1 — сплошная; 2 — пустотелая; 3 — армированная камышом

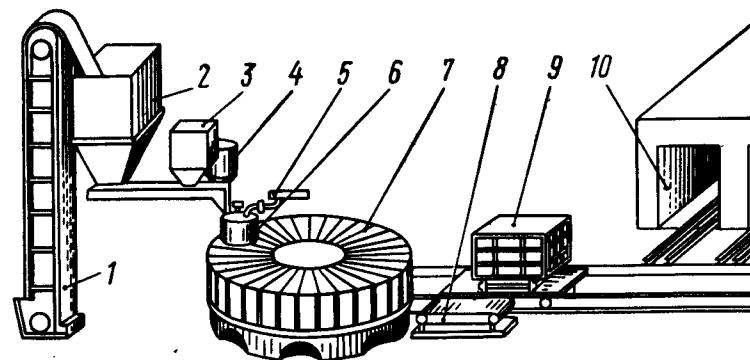


Рис. 8.4. Технологи́ческая схема производства перегородочных плит на карусельной машине:

1 — элеватор; 2 — промежуточный бункер; 3 — дозатор гипса; 4 — дозатор опилок; 5 — подача воды; 6 — быстроходный горизонтальный гипсосмеситель; 7 — карусельная формовочная машина; 8 — приемный транспортер; 9 — сушильная вагонетка; 10 — туннельное сушило

меньшей, чем у окружающей среды, в зону с более высокой температурой, а затем снова попадают в зону с меньшей температурой. Этим достигается более свободное перемещение влаги на поверхность изделия и ее испарение, в результате чего на плитах не образуется трещин. Первая зона сушила работает по принципу противотока, а вторая — прямотока. Время сушки изделия зависит от толщины плит и их начальной влажности. При толщине плит 100 мм и начальной влажности 28...32 % время сушки составляет 20...28 ч. Высушенные плиты поступают на склад готовой продукции.

§ 8.4. Гипсовые вентиляционные блоки

● Гипсовые вентиляционные блоки для жилищного строительства изготавливают на гипсоцементно-пуццолановом вяжущем размером «на этаж». Блоки устраивают со сквозными круглыми пустотами диаметром 140 мм, толщиной стенок 20 мм.

Технологическая схема производства вентиляционных блоков представлена на рис. 8.5. Сухие компоненты дозируют объемными дозаторами и с помощью ленточных питателей подают в сборную воронку, а оттуда в горизонтальный растворосмеситель непрерывного действия. Смесь тщательно перемешивают, вода поступает через форсунки. Приготовленную до заданной консистенции массу направляют в подготовленную форму с пустотообразователями — пуансонами. Форма заполняется гипсобетоном в процессе ее перемещения и проходит под ленточным транспортером, при этом поверхность блока выравнивается. Для более легкого извлечения пуансонов из блока их протачивают на конус и смазывают петролатумом или парафином, разбавленным соляровым маслом. Отформованные блоки устанавливают на кассетную сушильную вагонетку и выдерживают в течение 3...4 ч в нормальных условиях (до полной гидратации вяжущего), а затем отправляют в туннельные сушила на 12...13 ч с температурой поступающих газов до 120°C. Высушенные изделия отправляют на склад готовой продукции.

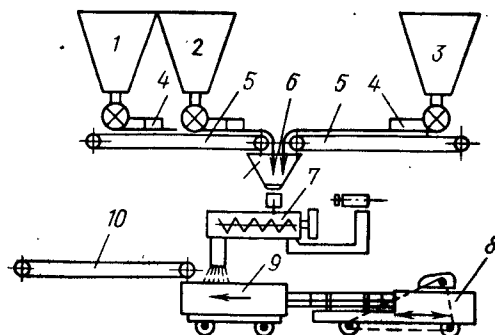


Рис. 8.5. Технологическая схема производства вентиляционных блоков:

1, 2, 3 — бункера гипса, цемента, золы; 4 — объемные дозаторы; 5 — ленточные питатели; 6 — сборная воронка; 7 — растворосмеситель непрерывного действия; 8 — пуансоны-пустотообразователи; 9 — приводная тележка; 10 — ленточный транспортер

Расход материалов на приготовление 1 м³ гипсобетона:	
Гипсовое вяжущее, кг	700
Пуццолановый цемент, кг	100
Зола ТЭЦ, кг	200
Песок, кг	300
Опилки, % от массы вяжущего	3

Для приготовления гипсобетона для вентиляционных блоков применяют гипсовое вяжущее прочностью 12...13 МПа, полученное в гипсоварочных котлах с добавкой поваренной соли.

§ 8.5 Гипсокартонные листы

● Гипсокартонные листы представляют собой листовой отделочный материал, изготовленный из строительного гипса, армированный растительным волокном и оклеенный с обеих сторон картоном. В производстве таких листов применяют вещества, регулирующие сроки схватывания (гипс-двугидрат, поваренную соль, СДБ); добавки, облегчающие массу листов и снижающие расход вяжущего (древесные опилки, фибра); пенообразователи (казеин + омыленная канифоль, каустическая сода); клеящие вещества, содействующие сцеплению картона с гипсовым сердечником (декстрин, казеиновый клей, растворимое стекло), и клеи для приклеивания кромок картона.

Гипсокартонные листы выпускают шириной 1,2 м, длиной 2,5...3,3 м и толщиной 10...12 мм. Листы обшивочные плохо сопротивляются изгибу и разрушаются под действием влаги. Поэтому влажность обшивочных листов не должна превышать 2 % по массе, а прочность на изгиб в середине пролета в 350 мм должна быть не менее 3,2 и 2,5 МПа при толщине соответственно 12 и 10 мм. Плотность штукатурки с гипсовым сердечником составляет 1000... 1110 кг/м³. Сухая штукатурка не горит, легко режется и гвоздится.

Технология производства гипсокартонных листов состоит из приготовления формовочной массы, подготовки картона, формовки непрерывной ленты штукатурки, ее твердения и резки на листы, сушки листов в многоярусных туннельных сушилах и складирования.

Применяют гипсокартонные листы для внутренней отделки стен и потолков путем приклейки специальными мастиками. Швы между листами заделывают безусадочной шпаклевкой.

Камни гипсобетонные для наружных стен зданий III и IV категорий изготавливают в районах, где гипс является местным материалом и нет других эффективных стеновых материалов. Камни гипсобетонные по пределу прочности при сжатии производят марок 35, 50 и 75 и морозостойкостью не менее F 15. Из гипса и гипсобетона с легкими заполнителями изготавливают также огнезащитные изделия для облицовки металлических конструкций, шахт для лифтов и т. п.

§ 8.6. Экономика производства и применения гипсобетонных изделий

В СССР насчитывается более 100 заводов и цехов по производству гипсовых вяжущих и изделий, в том числе имеется 41 прокатный стан для изготовления крупноразмерных панелей, 16 конвейеров для производства гипсокартонных листов.

Современная гипсовая промышленность поставляет строителям гипсокартонные листы и разнообразный ассортимент гипсовых строительных деталей. Динамика выпуска продукции гипсовой промышленности приведена в табл. 8.1.

Таблица 8.1. Выпуск продукции гипсовой промышленности

Наименование продукции	1955 г.	1960 г.	1970 г.	1980 г.	1985 г.
Гипсовое вяжущее, млн. т	2,87	4,6	4,7	4,3	4,2
Гипсокартонные листы, млн. м ²	44,7	67,8	50	38	38

До настоящего времени строительство испытывает недостаток в гипсовых материалах и изделиях. Гипсобетонные перегородки значительно выгоднее кирпичных (на 25...35 %), железобетонных (на 10...15 %), фибролитовых и деревянных щитовых (на 40...50 %).

Высокие темпы капитального строительства, а также индивидуального жилищного строительства в городах, рабочих поселках и сельской местности требуют быстрого развития гипсовой промышленности. Одним из важнейших показателей является уровень себестоимости изготавливаемой продукции. Относительно наименьшую себестоимость имеет продукция Новомосковского гипсового комбината — 0,25 руб. Гипсовые панели выпускают более 50 предприятий, оборудованных высокомеханизированными прокатными станами, имеющих среднегодовую фактическую производительность около 570 тыс. м². Наибольшей среднегодовой производительности прокатных станов достигли Магистральный завод, Дарницкий, Новомосковский комбинат (800...850 тыс. м²).

В настоящее время освоено производство панелей с каналами для скрытой проводки на заводах Новомосковском, Ленинградском, Новосибирском, Красноярском и др., что позволяет перейти на полную заводскую готовность изделия и тем самым уменьшить трудозатраты на стройплощадке и сократить сроки строительства. Себестоимость производства гипсобетонных перегородочных панелей в среднем составляет 3,0 руб/м², а на лучших заводах — Кунцевском, Магистральном, Новомосковском — около 1,8...2 руб/м².

Издержки производства перегородочных плит в значительной мере зависят от масштабов производства, типа применяемого оборудования, а также от сырья (привозное или местное). Так, высокопроизводительные карусельные машины, работающие

на собственном сырье, позволяют получать себестоимость 1 м² плит до 1 руб. (на Новомосковском, Деконском и др.).

Наибольшие затраты при производстве гипсобетонных панелей приходятся на сырье и основные материалы. Наиболее дорогостоящим исходным материалом является гипс. Эффективным способом снижения затрат на гипс можно достигнуть за счет уменьшения потерь при транспортировке, а также сохранения качества гипса при хранении на складах. Поскольку гипс во времени быстро теряет активность, контактируя с влагой воздуха, необходимо стремиться к тому, чтобы его запасы на заводе гипсобетонных изделий были наименьшими. Более целесообразно заводы по производству гипсобетонных изделий располагать рядом с заводом по производству гипса. Это позволяет иметь меньший запас гипса на заводском складе, в связи с чем снизятся затраты на транспортировку и создастся возможность использования гипса более высокого качества. Правильное хранение и расходование других составляющих материалов также могут снизить себестоимость готовых изделий.

На производство гипсовых и гипсобетонных изделий расходуется значительное количество воды, пара и силовой электроэнергии, причем наибольшее количество энергии расходуется на сушку (до 25% всей потребляемой предприятиями энергии). В настоящее время разработаны и все шире внедряются скоростные методы сушки гипсовых изделий. Если продолжительность сушки гипсокартонных листов на большинстве заводов составляет 70...80 мин, а плит и панелей — 20...24 ч, то при скоростных методах сушки эти сроки сокращаются соответственно для гипсокартонных листов до 12...15 мин и перегородочных плит и панелей — до 8...9 ч.

Исследованиями советских ученых установлено, что экономическая эффективность высокотемпературной сушки при производстве гипсовых плит и гипсобетонных панелей достигается за счет уменьшения расхода тепла вследствие изменения параметров теплоносителя и увеличения производительности труда и оборудования.

Анализ кинетики сушки гипсовых строительных материалов позволил установить, что без нарушения качества гипсовых и гипсобетонных изделий процесс сушки можно ускорить за счет применения высокотемпературного увлажненного теплоносителя. Так, при сушке гипсобетонных панелей можно применить начальную температуру теплоносителя 220...240°C при влажностном содержании 45...50 г/кг сух. возд. против начальной температуры теплоносителя 120...130°C и влажностного содержания 25...30 г/кг сух. возд. и конечную температуру теплоносителя 60...65°C с влажностным содержанием 105...110 г/кг сух. возд. Эти условия позволяют интенсифицировать как внешний подвод тепла, так и движение влаги из толщи материала к поверхности.

Таким образом, сушка гипсобетонных изделий с применением высокотемпературного увлажненного теплоносителя позволяет в

короткие сроки (за 8...9 ч) сушить гипсобетонные панели, не вызывая дегидратации гипса и, следовательно, не понижая качества изделий.

Технико-экономическая эффективность высокотемпературной сушки гипсокартонных листов достигается за счет уменьшения расхода тепла, изменения параметров теплоносителя, использования теплоносителя после первой зоны для нагревания наружного воздуха, подаваемого в смесительную камеру подтопка, разницы стоимости нагрева теплоносителя в паровых калориферах и при получении газозвоздушной смеси сжигания топлива в подтопках, разницы в эксплуатационных расходах котельной установки подтопка и за счет повышения производительности труда и оборудования.

Данные о работе сушил по старому (низкотемпературному) и новому (высокотемпературному) методам сушки приведены в табл. 8.2 и 8.3.

Таблица 8.2. Данные о работе туннельных сушил для гипсобетонных панелей на низко- и высокотемпературном режимах сушки

Наименование показателей	Режим сушки	
	низкотемпературный	высокотемпературный
Продолжительность сушки, ч	20...24	8...9
Производительность сушильной установки, м ² /ч	125...110	200...180
Число смен работы прокатного стана в сутки	2	2
Число смен работы сушильной установки в сутки	3	2
Число работающих сушильных камер, шт.	4	3
Параметры теплоносителя:		
температура, °С:		
начальная	120...130	220...240
конечная	55...60	60...65
скорость, м/с	2...2,5	2...2,5
влажностенержание, г/кг сух. возд.:		
начальное	25...30	45...50
конечное	50...60	105...110
Расход тепла на 1 кг испаряемой влаги при сжигании в подтопках природного газа, Дж/кг исп. вл.	5000...5500	3750...4000
Расход газа на 1 м ² гипсобетонных панелей, м ³ /м ²	3...3,1	2,2...2,4
Расход электроэнергии на сушку 1 м ² гипсобетонных панелей, кВт/м ²	2,5...2,7	1,8...1,9

Изложенные данные свидетельствуют о высокой экономичности применения скоростной высокотемпературной сушки в производстве гипсовых и гипсобетонных изделий.

Значительную долю в себестоимости изделий составляют затраты на заработную плату производственных рабочих, в

связи с чем большое значение приобретает повышение производительности труда.

Рост производительности труда должен опережать рост заработной платы, в результате чего ее доля на единицу продукции будет снижаться при росте средней заработной платы на одного рабочего. Повышению производительности труда способствуют рационализация производства, механизация и автоматизация производственных процессов.

Снижение себестоимости продукции заводов гипсобетонных

Таблица 8.3. Данные о работе шестиярусных сушил для гипсокартонных листов толщиной 10 мм на низко- и высокотемпературном режимах сушки

Наименование показателей	Режим сушки	
	низкотемпературный	высокотемпературный
Продолжительность сушки, мин	80	55
Производительность сушильной установки, м ² /ч	730	1000
Расход пара на 1 м ² листов штукатурки, кг/м ²	10,4	—
Часовой расход пара, т/ч	7,6	—
Расход газа, м ³ /м ²	—	0,46
Часовой расход газа, м ³ /ч	—	460
Параметры теплоносителя:		
<i>I зона</i>		
температура, °С:		
начальная	145...155	220...240
конечная	105...110	130...140
скорость, м/с	2,3...3	2...2,5
влажностенержание, г/кг сух. возд.:		
начальное	22...25	80...85
конечное	40...45	110...120
<i>II зона</i>		
температура, °С:		
начальная	150...155	220...240
конечная	105...110	140...150
скорость, м/с	2,5...3	2...2,5
влажностенержание, г/кг сух. возд.:		
начальное	22...25	80...85
конечное	40...45	110...120
<i>III зона</i>		
температура, °С:		
начальная	120...135	140...150
конечная	70...80	60...65
скорость, м/с	2,5...3	1...1,5
влажностенержание, г/кг сух. возд.:		
начальное	25...30	110...120
конечное	45...50	150...160
Расход тепла 1 кг испаряемой влаги, Дж/кг исп. вл.	1450...1500	1000...1100
Расход условного топлива на сушку 1 м ² листов штукатурки, кг/м ²	1,4	0,55...0,6

изделий может быть получено также за счет снижения цеховых расходов — рационализацией системы управления и учета. Важной задачей является снижение общезаводских расходов, связанных с затратами на содержание заводоуправления, вспомогательных цехов и служб, а также с транспортированием сырья, готовой продукции и т. п.

Главной задачей гипсовой промышленности является осуществление планомерной модернизации предприятий с созданием новых видов непрерывно действующего автоматизированного гипсоварочного оборудования, а также новых формовочных и сушильных установок. К числу наиболее целесообразных мероприятий относятся следующие: перевод на газ и жидкое топливо основных тепловых агрегатов (котлов, барабанов, сушил); применение пневмотранспорта; установка электрофильтров; внедрение высокотемпературной скоростной сушки гипсовых и гипсобетонных изделий; более широкое производство и применение для изготовления изделий водостойких гипсоцементно-пуццолановых вяжущих.

В ближайшие годы должна быть увеличена добыча гипсового камня на существующих горных предприятиях за счет реконструкции, а также расширена добыча гипсового камня за счет строительства новых горных предприятий, увеличено использование гипсосодержащих отходов.

Широкое применение прогрессивных гипсовых материалов и изделий позволяет повысить индустриальность строительства, улучшить эксплуатационные и эстетические показатели строительных конструкций, снизить трудоемкость и стоимость строительства. В сводном виде эффект применения новых видов гипсовых изделий дан в табл. 8. 4.

Для расширения номенклатуры гипсовых изделий, а вместе с тем и сферы применения гипсовых вяжущих необходимо промышленное производство и выпуск водостойких гипсоцементно-пуццолановых вяжущих и изделий на их основе и в первую очередь прокатных перегородочных панелей, панелей оснований полов, прокатных панелей для санитарно-технических кабин и узлов, вентиляционных блоков, стеновых камней и др. Так, одной из весьма прогрессивных конструкций являются панели основания пола на гипсоцементно-пуццолановом вяжущем заводского изготовления. Они имеют гладкую поверхность, и при их укладке не требуется создания в перекрытиях трудоемких звукоизоляционных засыпок и выравнивающих стяжек, что позволяет в 1,5...2 раза снизить общую трудоемкость работ по устройству полов.

По данным предприятий, выпускающих панели основания пола, средние издержки производства составляют 2,5...10 руб/м², а на лучших предприятиях — около 2 руб/м². При этом наибольшие затраты в себестоимости приходятся на сырье и материалы (58...60 % от общих затрат на производство). Для снижения себестоимости панелей основания пола необходимо снизить трудоемкость и соответственно стоимость каркаса путем применения более

Таблица 8.4. Перспективные показатели применения прогрессивных гипсовых изделий

Области применения	Виды изделий и конструкций на основе гипса и ГЦПВ	Взаимозаменяемые виды изделий и конструкций	Усредненный экономический эффект на 1 м ² , 1 шт., 1 м		
			по стоимости «в деле», руб.	по удельным капитальным вложениям, руб.	по приведенным затратам, руб.
Стены наружные, м ²	Керамзитобетонная панель на ГЦПВ	Керамзитобетонная панель на порландцементе	2,2	15,3	4,1
	Гипсобетонные мелкие блоки	Стены из керамического и силикатного кирпича	5,95	13,26	7,22
Внутренние стены и перегородки, м ²	Крупнопанельные	Железобетонная панель	2,2	3,0	2,5
	Мелкоштучные плиты	Керамический кирпич	0,4	2,8	0,8
Перекрытия, м ²	Керамзитобетонная панель ГЦПВ	Керамзитобетонная панель на порландцементе	0,58	2,38	1,11
Основания под полы, м ²	Безосновный линолеум по гипсобетонной плите на ГЦПВ	Безосновный линолеум по железобетонной плите	1,35	0,86	1,22
	Монолитные на ГЦПВ	Железобетонные монолитные	55,0	66,0	63,0
Сантехкабины, шт.	Сборные на ГЦПВ	Асбестоцементные сборные	56,0	83,0	66,0
Внутренняя отделка, м ²	Гипсокартонные листы (ГКЛ): с полиэтиленовой пленкой, с ПВХ-пленкой, ГКЛ черновая с алюминиевой фольгой	ГКЛ черновая	0,11	0,31	0,27
	Гипсовые перфорированные литые плиты	Плиты «Акминит» и «Акмигран»	3,0	1,5	0,2

дешевых сортов древесины или частичной замены деревянного каркаса другими материалами, например стекловолокном.

В настоящее время большое применение в строительстве нашли санитарно-технические кабины, которые изготовляют на прокатном стане или из отдельных гипсобетонных панелей, армированных деревянным каркасом или металлической сеткой, или в специальных вертикальных формах в виде готовых объемных элементов. Кабины выпускают с санитарными узлами размером в плане:

совмещенные — $1,86 \times 1,56$ м, разобщенные — $2,16 \times 1,56$ м, высотой 2,39 м. Кабины изготовляют из тяжелого бетона или раствора на гипсоцементно-пуццолановом вяжущем; основанием под кабины служат железобетонные поддоны.

Хорошевский завод ЖБИ домостроительного комбината № 1 специализирован на изготовлении унифицированных санитарно-технических кабин методом вертикального объемного формования разобщенных и совмещенных, выпускаемых на высокомеханизированных конвейерной и стендовой линиях. Применение ГЦПВ и метода вертикального формования (одновременная заливка всех плоскостей) при изготовлении санитарно-технических кабин позволяет отказаться от тепловлажностной обработки и получать изделия с распулубочной прочностью через 1...2,5 ч после формования; получать высокую производительность (ритм конвейера 7...10 мин); применять местное дешевое вяжущее; уменьшить расход стали. Сушку производят горячим воздухом при температуре 80...90 °С в течение 10...12 ч до влажности 10...12 %.

Уровень достигнутых технико-экономических показателей производства санитарно-технических кабин на ГЦПВ и изделий в сравнении с другими типами взаимозаменяемых конструкций позволяет рекомендовать их для массового строительства в жилых и общественных зданиях.

Однако на современном этапе существующая технология производства гипсовых вяжущих и изделий на их основе нуждается в дальнейшем развитии и техническом переоснащении. Наряду с совершенствованием традиционных способов производства гипса необходимо обеспечить переход на непрерывные процессы, внедрять новое оборудование. С этой целью целесообразно, например, применение способов дегидратации гипса в кипящем слое, во взвешенном состоянии, с использованием промежуточного теплоносителя для получения вяжущего β -полугидрата и особенно гидротермального способа для получения α -полуводного высокопрочного гипса.

8. Б. Изделия на основе извести

Использование извести для получения прочных и водостойких искусственных каменных изделий долгое время не находило применения, так как в естественных условиях известь твердеет очень медленно, изделия на ее основе имеют небольшую прочность (1...2 МПа) и легко размокают при действии воды.

Сущность превращения известково-песчаной смеси из легкоразмокающего и малопрочного материала в прочный и водостойкий камень заключается в следующем. При естественных условиях песок в известково-песчаных смесях инертен и не способен химически взаимодействовать с известью. Приобретение прочности известково-песчаными растворами в естественных условиях достигается главным образом за счет твердения извести. Однако в среде насыщенного пара (100% влажности) и температуре 170 °С и

выше кремнезем приобретает химическую активность и начинает быстро взаимодействовать с известью по уравнению $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 + (n-1)\text{H}_2\text{O} = \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, образуя гидросиликаты кальция — прочное и водостойкое вещество.

Из известково-песчаных смесей изготовляют крупноразмерные изделия для сборного строительства — блоки и панели для стен и перекрытий, а также штучные изделия — силикатный кирпич и камни для стен.

Изготовление силикатных блоков и панелей аналогично производству железобетонных изделий (см. гл. 11).

§ 8.7. Силикатный кирпич

● **Силикатный кирпич по своей форме, размерам и основному назначению не отличается от керамического кирпича (см. гл. 3).** Материалами для изготовления силикатного кирпича являются **воздушная известь и кварцевый песок.** Известь применяют в виде молотой негашеной, частично загашенной или гашеной гидратной. Известь должна характеризоваться быстрым гашением и не должна содержать более 5% MgO. Пережог замедляет скорость гашения извести и даже вызывает появление в изделиях трещин, вспучиваний и других дефектов, поэтому для производства автоклавных силикатных изделий известь не должна содержать пережога. Кварцевый песок в производстве силикатных изделий применяют немолотый или в виде смеси немолотого и тонкомолотого, а также грубомолотого с содержанием кремнезема не менее 70%. Наличие примесей в песке отрицательно влияет на качество изделий: слюда понижает прочность, и ее содержание в песке не должно превышать 0,5%; органические примеси вызывают вспучивание и также понижают прочность; содержание в песке сернистых примесей ограничивается до 1% в пересчете на SO_3 . Равномерно распределенные глинистые примеси допускаются в количестве не более 10%; они даже несколько повышают удобоукладываемость смеси. Крупные включения глины в песке не допускаются, так как снижают качество изделий. Состав известково-песчаной смеси для изготовления силикатного кирпича следующий: 92...95% чистого кварцевого песка, 5...8% воздушной извести и примерно 7% воды.

Производство силикатного кирпича ведут двумя способами: барабанным и силосным, — отличающимися приготовлением известково-песчаной смеси.

При *барабанном способе* (рис. 8. 6) песок и тонкомолотая негашеная известь, получаемая измельчением в шаровой мельнице комовой извести, поступают в отдельные бункера над гасильным барабаном. Из бункеров песок, дозируемый по объему, а известь — по массе, периодически загружаются в гасильный барабан. Последний герметически закрывают и в течение 3...5 мин производят перемешивание сухих материалов. При подаче острого пара под давлением 0,15...0,2 МПа происходит гашение извес-

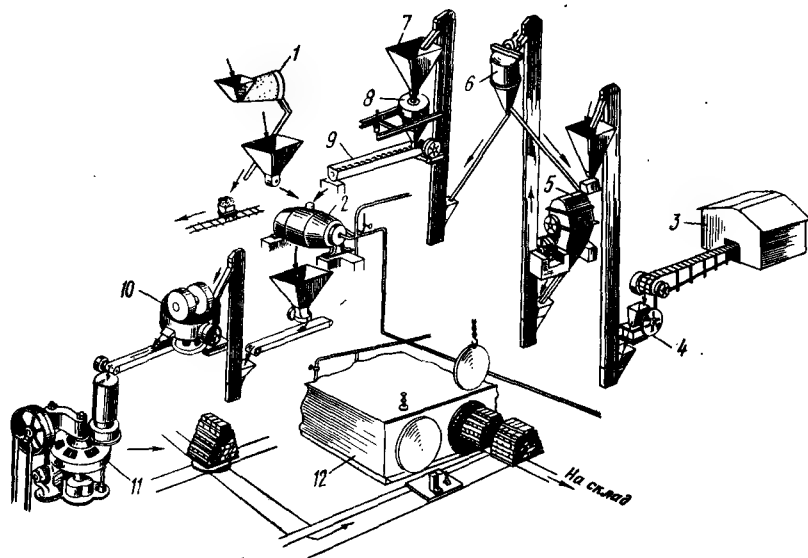


Рис. 8.6. Техническая схема производства силикатного кирпича по барабанному способу:

1 — барабанный грохот для сортировки песка; 2 — сушильный барабан; 3 — склад извести; 4 — дробилка; 5 — мельница; 6 — сепаратор; 7 — бункер молотой извести; 8 — весы; 9 — шнек; 10 — перемешивание и измельчение массы на бегунах; 11 — прессование кирпича; 12 — твердение кирпича в автоклаве

ти при непрерывно вращающемся барабане. Процесс гашения извести длится до 40 мин.

При *силосном способе* предварительно перемешанную и увлажненную массу направляют для гашения в силосы. Гашение в силосах происходит 7...12 ч, т.е. в 10...15 раз больше, чем в барабанах, что является существенным недостатком силосного способа. Хорошо загашенную в барабане или силосе известково-песчаную массу подают в лопастный смеситель или на бегуны для дополнительного увлажнения и перемешивания и далее на прессование. Прессование кирпича производят на механических прессах под давлением до 15...20 МПа, обеспечивающим получение плотного и прочного кирпича. Отформованный сырец укладывают на вагонетку, которую направляют в автоклав для твердения.

Автоклав представляет собой стальной цилиндр диаметром 2 м и более, длиной до 20 м, с торцов герметически закрывающийся крышками (рис. 8. 7). С повышением температуры ускоряется реакция между известью и песком, и при температуре 174 °С она протекает в течение 8...10 ч. Быстрое твердение происходит не только при высокой температуре, но и высокой влажности, для этого в автоклав пускают пар давлением до 0,8 МПа и это давление выдерживают 6...8 ч. Давление пара поднимают

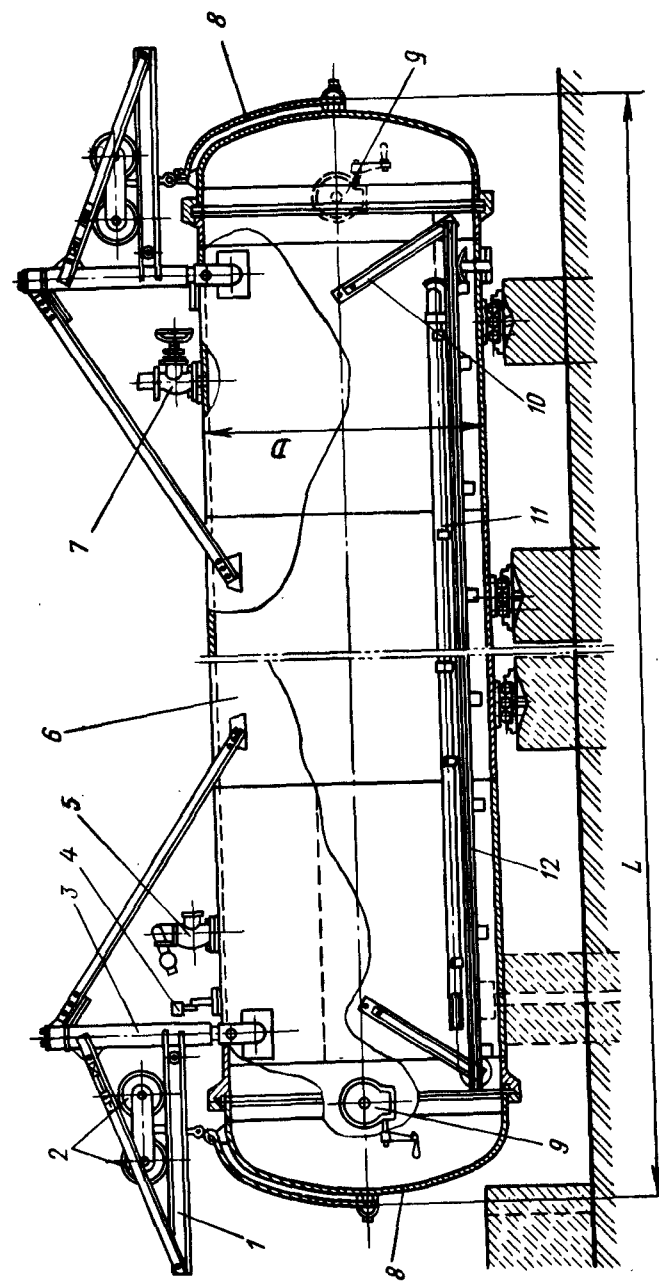
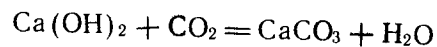


Рис. 8.7. Автоклав:

1 — кранштейн; 2 — тележка; 3 — стойка; 4 — манометр; 5 — предохранительный клапан; 6 — металлический цилиндр; 7 — штуцер с краном; 8 — крышка; 9 — лебедка; 10 — рельсовый мостик; 11 — паропровод; 12 — рельсы

и снижают в течение 1,5 ч. Цикл запаривания продолжается 10...14 ч.

Под действием высокой температуры и влажности происходит химическая реакция между известью и кремнеземом. Образующиеся в результате реакции гидросиликаты срастаются с зернами песка в прочный камень. Однако твердение силикатного кирпича на этом не прекращается, а продолжается после запаривания. Часть извести, вступившей в химическое взаимодействие с кремнеземом песка, реагирует с углекислотой воздуха, образуя прочный углекислый кальций по уравнению



Силикатный кирпич выпускают размером $250 \times 120 \times 65$ мм, марок 75, 100, 125, 150, 200, 250 и 300, водопоглощением 8...16%, теплопроводностью 0,70...0,75 Вт/(м·°C), плотностью свыше 1650 кг/м³ — несколько выше, чем плотность керамического кирпича; морозостойкостью F15. Теплоизоляционные качества стен из силикатного кирпича и керамического практически равны.

Применяют силикатный кирпич так же, где и керамический, но с некоторыми ограничениями. Нельзя применять силикатный кирпич для кладки фундаментов и цоколей, так как он менее водостоек, а также для кладки печей и дымовых труб, так как при длительном воздействии высокой температуры происходит дегидратация гидросиликата кальция и гидрата оксида кальция, которые связывают зерна песка, и кирпич разрушается.

По технико-экономическим показателям силикатный кирпич превосходит керамический. На его производство требуется в 2 раза меньше топлива, в 3 раза меньше электроэнергии, в 2,5 раза меньше трудоемкости производства; в конечном итоге себестоимость силикатного кирпича оказывается на 25...35% ниже, чем керамического.

§ 8.8. Известково-шлаковый и известково-зольный кирпич

● Известково-шлаковый и известково-зольный кирпичи являются разновидностью силикатного кирпича, но отличаются меньшей плотностью и лучшими теплоизоляционными свойствами, так как в них тяжелый кварцевый песок заменен соответственно пористым легким шлаком или золой. Для приготовления известково-шлакового кирпича берут 3...12% извести и 88...97% шлака, а для известково-зольного — 20...25% извести и 75...80% золы. Так же как и шлак, зола является дешевым сырьевым материалом, образующимся при сжигании каменного, бурого угля и другого топлива в котельных ТЭЦ, ГРЭС и т. д. Использование шлаков и зол экономически выгодно, так как расширяется сырьевая база силикатных и других строительных материалов и снижается их стоимость.

Производство известково-шлакового и известково-зольного кирпича аналогично технологической схеме производства силикатного кирпича. Шлаковый и зольный кирпич выпускают размером $250 \times 120 \times 140$ мм и больше, марками по прочности при сжатии 25, 50 и 75, морозостойкостью такой же, как и у силикатного кирпича, плотностью 1400...1600 кг/м³, теплопроводностью 0,5...0,6 Вт/(м·°C).

Применяют известково-шлаковый и известково-зольный кирпич для возведения кладки стен зданий малой этажности (до трех этажей), а также для кладки стен верхних этажей многоэтажных зданий.

§ 8.9. Крупноразмерные изделия из силикатного бетона

● Силикатным бетоном называют затвердевшую в автоклаве уплотненную смесь, состоящую из кварцевого песка (70...80%), молотого песка (8...15%) и молотой негашеной извести (6...10%). Плотный силикатный бетон является разновидностью тяжелого бетона.

Силикатные бетоны, как и цементные, могут быть *тяжелыми* (заполнители плотные — песок и щебень или песчано-гравийная смесь), *легкими* (заполнители пористые — керамзит, вспученный перлит, аглопорит и др.) и *ячеистыми* (заполнителем служат пузырьки воздуха, равномерно распределенные в объеме изделия).

Вязущим в силикатном бетоне является тонкомолотая известково-кремнеземистая смесь — известково-кремнеземистое вяжущее, способное при затворении водой в процессе тепловлажностной обработки в автоклаве образовывать высокопрочный искусственный камень.

В качестве кремнеземистого компонента применяют молотый кварцевый песок, металлургические (главным образом доменные) шлаки, золы ТЭЦ. Кремнеземистый компонент (тонкомолотый песок) оказывает большое влияние на формирование свойств силикатных бетонов. Так, с возрастанием дисперсности частиц молотого песка повышаются прочность, морозостойкость и другие свойства силикатных материалов.

С увеличением тонкости помола песка повышается относительное содержание CaO в смеси вяжущего до тех пор, пока содержание активной CaO обеспечивает возможность связывания ее во время автоклавной обработки имеющимся песком в низкоосновные гидросиликаты кальция. По данным ВНИИСтро-ма, при удельной поверхности молотого песка 2000...2500 см²/г содержание извести в смеси (в пересчете на CaO) составляет 20...28% от массы известково-кремнеземистого вяжущего, а при удельной поверхности песка более 2500 см²/г оптимальное содержание CaO в смешанном вяжущем может быть повышено до 33%.

Автоклавная обработка — последняя и самая важная стадия производства силикатных изделий. В автоклаве происходят сложные процессы превращения исходной, уложенной и уплотненной силикатобетонной смеси в прочные изделия разной плотности, формы и назначения. В настоящее время выпускаются автоклавы диаметром 2,6 и 3,6 м, длиной 20...30 и 40 м. Как изложено выше, автоклав представляет собой цилиндрический горизонтальный сварной сосуд (котел) с герметически закрывающимися с торцов сферическими крышками. Котел имеет манометр, показывающий давление пара, и предохранительный клапан, автоматически открывающийся при повышении в котле давления выше предельного. В нижней части автоклава уложены рельсы, по которым передвигаются загружаемые в автоклав вагонетки с изделиями. Автоклавы оборудованы траверсными путями с передаточными тележками — электромостами для загрузки и выгрузки вагонеток и устройствами для автоматического контроля и управления режимом автоклавной обработки. Для уменьшения теплопотерь в окружающее пространство поверхность автоклава и всех паропроводов покрывают слоем теплоизоляции. Применяют тупиковые или проходные автоклавы. Автоклавы оборудованы магистралями для выпуска насыщенного пара, перепуска отработавшего пара в другой автоклав, в атмосферу, утилизатор и для конденсатоотвода.

При эксплуатации автоклавов необходимо строго соблюдать «Правила устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

После загрузки автоклава крышку закрывают и в него медленно и равномерно впускают насыщенный пар. Автоклавная обработка является наиболее эффективным средством ускорения твердения бетона. Высокие температуры при наличии в обрабатываемом бетоне воды в капельно-жидком состоянии создают благоприятные условия для химического взаимодействия между гидратом оксида кальция и кремнеземом с образованием основного цементирующего вещества — гидросиликатов кальция.

Весь цикл автоклавной обработки (по данным проф. П. И. Боженова) условно делится на пять этапов: 1 — от начала впуска пара до установления в автоклаве температуры 100 °С; 2 — повышение температуры среды и давления пара до назначенного минимума; 3 — изотермическая выдержка при максимальном давлении и температуре; 4 — снижение давления до атмосферного, температуры до 100 °С; 5 — период постепенного остывания изделий от 100 до 18...20 °С либо в автоклаве, либо после выгрузки их из автоклава.

Качество силикатных изделий автоклавного твердения зависит не только от состава и структуры новообразований, но и от правильного управления физическими явлениями, возникающими на различных этапах автоклавной обработки. При автоклавной обработке кроме физико-химических процессов, обеспечивающих синтез гидросиликатов кальция, имеют место физические процес-

сы, связанные с температурными и влажностными градиентами, определяемые термодинамическими свойствами водяного пара и изменениями физических характеристик в сырьевой смеси, а затем и в образовавшемся искусственном силикатном камне.

В составе силикатного камня преобладают низкоосновные гидросиликаты кальция, имеющие тонкоигольчатое или чешуйчатое микрокристаллическое строение типа CSH(B), и тоберморит. Однако наряду с низкоосновными могут быть и более крупнокристаллические высокоосновные гидросиликаты калиция типа C₂SH(A).

Развитие производства крупноразмерных силикатных изделий, особенно полной заводской отделки, способствует индустриализации строительства, дает возможность экономить цемент и позволяет расширить базу полносборного строительства. Наибольшее практическое распространение получили тяжелые мелкозернистые бетоны плотностью 1800...2500 кг/м³ и прочностью 15, 20, 25, 30 и 40 МПа. Можно получить силикатный бетон прочностью до 80 МПа при увеличении дисперсности и количества тонкомолотого кварцевого песка в смеси известково-кремнеземистого вяжущего, сильном уплотнении и соответствующем режиме автоклавной обработки.

Прочность силикатного бетона при сжатии, изгибе и растяжении, деформативные свойства, сцепление с арматурой обеспечивают одинаковую несущую способность конструкций из силикатного и цементного бетона при одинаковых их размерах и степени армирования. Поэтому силикатный бетон можно использовать для армированных и предварительно напряженных конструкций, что ставит его в один ряд с цементным бетоном.

Из плотных силикатных бетонов изготавливают несущие конструкции для жилищного, промышленного и сельского строительства: панели внутренних стен и перекрытий, лестничные марши и площадки, балки, прогоны и колонны, карнизные плиты и т. д. В последнее время тяжелые силикатные бетоны применяют для изготовления таких высокопрочных изделий, как прессованный безасбестовый шифер, напряженно-армированные силикатобетонные железнодорожные шпалы, армированные силикатобетонные тубинги для отделки туннелей метро и для шахтного строительства (бетон прочностью 60 МПа и более).

Коррозия арматуры в силикатном бетоне зависит от плотности бетона и условий службы конструкций; при нормальном режиме эксплуатации сооружений арматура в плотном силикатном бетоне не корродирует. При влажном и переменном режимах эксплуатации в конструкциях из плотного силикатного бетона арматуру необходимо защищать антикоррозионными обмазками.

Силикатный бетон на пористых заполнителях — новый вид легкого бетона. Твердение его происходит в автоклавах. Вяжущие для этих бетонов применяют те же, что и для плотных силикатных бетонов, а заполнителями служат пористые заполнители: керамзит, вспученный перлит, аглопорит, шлаковая пемза

и другие пористые материалы в виде гравия и щебня. В настоящее время крупноразмерные изделия из силикатного бетона выпускают большой номенклатуры. Из силикатного бетона изготовляют крупные стеновые блоки внутренних несущих стен, панели перекрытий и несущих перегородок, ступени, плиты, балки. Элементы, работающие на изгиб, армируют стержнями и сетками.

Технология изготовления силикатобетонных изделий (рис. 8.8) состоит из следующих основных операций: добычи песка и отделения крупных фракций; добычи и обжига известняка (если известь производят на силикатном заводе), дробления извести; приготовления известково-песчаного вяжущего путем дозирования извести, песка и гипса и помола их в шаровых мельницах; приготовления силикатобетонной смеси путем смешения немолотого песка с тонкомолотой известково-песчаной смесью и водой в бетоносмесителях с принудительным перемешиванием; формования изделий и их выдерживания; твердения отформованных изделий в автоклавах при температуре 174...200 °С и давлении насыщенного пара до 0,8...1,5 МПа.

Для получения плотных силикатных изделий применяют известь с удельной поверхностью 4000...5000 см²/г, а песок — 2000...2500 см²/г.

Изделия на молотой негашеной извести можно получить повышенной прочности и морозостойкости. Для этой цели регулируют сроки гидратации извести путем введения гипса, поверхностно-активных веществ и т. д. Молотую негашеную известь целесообразно применять для изделий, изготовленных на пластичной бетонной смеси. В таких свежесформованных изделиях гашение молотой извести не вызывает образования трещин, а увеличение объема способствует большому уплотнению изделия. Кроме того, при последующей гидратации негашеной извести гидрат оксида кальция, возникающий в уже отформованных изделиях, более активно взаимодействует с кремнеземом, чем ранее образовавшийся в гашеной извести гидрат оксида кальция. В очень уплотненных прессованием изделиях из жестких смесей гашение молотой негашеной извести может повлечь образование трещин, поэтому с увеличением степени уплотнения целесообразно проводить частичное гашение извести путем совместного помола ее с влажным песком или предварительное выдерживание известково-песчаной смеси, как это предусматривается при производстве силикатного кирпича.

Для силикатных изделий с прочностью до 10...15 МПа песок можно применять в немолотом виде с известью 6...10% в расчете на активную СаО. Для изготовления автоклавных силикатных изделий расход извести составляет 175...250 кг на 1 м³ изделия.

Крупноразмерные изделия формуют на виброплощадках иногда с пригрузом или с вибропригрузом. Отформованные силикатные изделия подвергают запариванию в автоклавах диаметром 2,6 и 3,6 м.

Режим запаривания изделий из плотного силикатного бетона следующий: подъем давления пара до 0,8 МПа — 1,5...2 ч; выдерживание при этом давлении — 8...9 ч и спуск давления — 2...3 ч. Вибрированные крупноразмерные, силикатные изделия имеют прочность при сжатии 15...40 МПа, плотность — 1800...2100 кг/м³, морозостойкость — 50 циклов и более. При силовом вибропрокате силикатные изделия получают прочностью до 60 МПа и плотностью до 2300 кг/м³.

Применяют плотные силикатобетонные изделия для строительства жилых, промышленных и общественных зданий; не рекомендуется использовать их для фундаментов и других конструкций, работающих в условиях высокой влажности.

§ 8.10 Ячеистые силикатные изделия

● Ячеистые силикатные изделия отличаются малой плотностью и низкой теплопроводностью. Они бывают двух видов: пеносиликатные и газосиликатные.

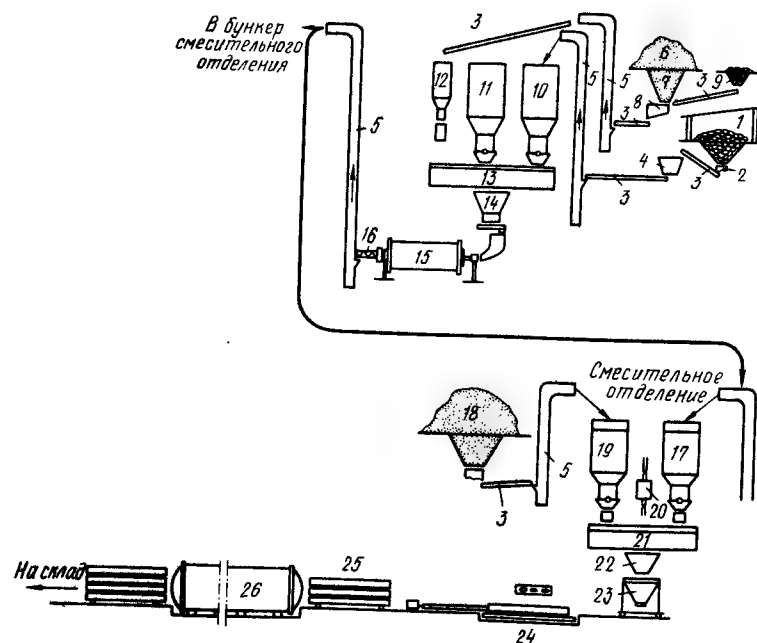


Рис. 8.8. Технологическая схема производства изделий из силикатного бетона:
1 — крытый склад извести; 2 — питатель; 3 — ленточный конвейер; 4 — щековая дробилка; 5 — элеваторы; 6 — склад песка; 7 — расходный бункер песка; 8 — виброгрохот; 9 — склад гипса; 10 — расходный бункер извести; 11 — расходный бункер гипса; 12 — расходный бункер гипса; 13 — бетоносмеситель С-371; 14 — бункер смеси; 15 — шаровая мельница СМ-14; 16 — шнековый питатель; 17 — бункер вяжущего; 18 — склад песка; 19 — расходный бункер песка; 20 — мерник воды; 21 — бетоносмеситель С-355; 22 — расходный бункер силикатобетонной смеси; 23 — бетоноукладчик; 24 — пост формовки; 25 — пост выдержки; 26 — автоклав

● Пеносиликатные изделия изготавливают из смеси извести (до 25%) и молотого песка (иногда берут часть немолотого песка). Молотый песок можно заменить измельченным шлаком, золой. Производство пеносиликатных изделий отличается от производства других известково-песчаных смесей добавкой пенообразователя: клееканифоляного, состоящего из костного или мездрового клея, канифоли, едкого натра и воды; смоло-сапонинового — из растительного мыльного корня и воды; пенообразователя ГК — гидролизованной боенской крови.

● В газосиликатных изделиях образование ячеистой структуры происходит при введении в приготовленную смесь алюминиевой пудры.

Технологическая схема производства ячеистых силикатных пеноблоков (рис. 8.9) состоит из следующих основных операций: приготовления известково-песчаного вяжущего совместным помолом извести и части песка (количество песка берут в пределах 20...50% от массы извести); измельчения песка по сухому или мокрому способу; приготовления пено- или газобетонной массы;

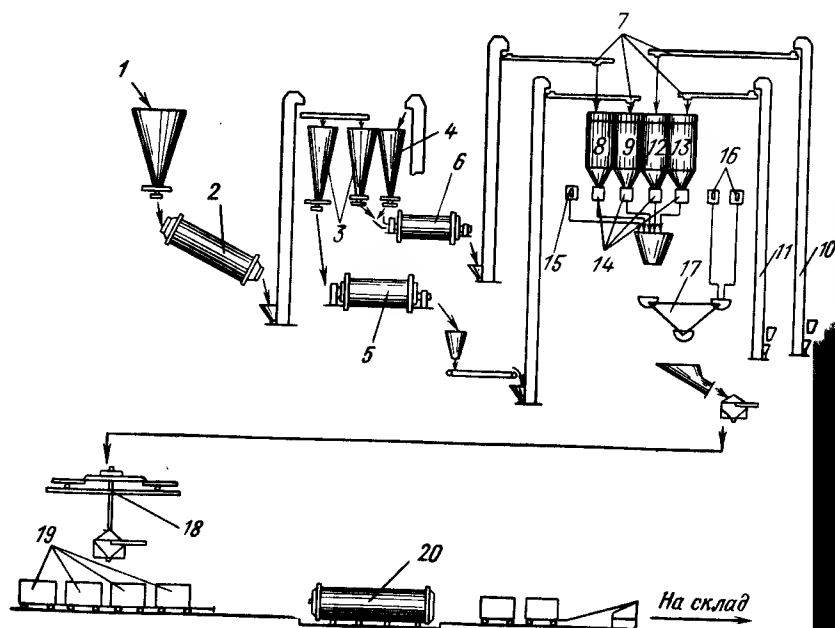


Рис. 8.9. Технологическая схема производства пеноблоков на смешанном вяжущем:

1 — бункер песка; 2 — сушильный барабан СМ-45; 3 — бункера сухого песка; 4 — бункер извести; 5 — шаровая мельница для помола песка; 6 — шаровая мельница для совместного помола извести и песка; 7 — система шнеков; 8, 9 — бункера для известково-песчаной смеси и для молотого песка; 10 — элеватор подачи цемента; 11 — элеватор подачи молотой извести; 12, 13 — бункера цемента и молотой извести; 14 — дозаторы; 15 — дозатор воды; 16 — дозатор пенообразователя; 17 — пенобетоносмеситель; 18 — розлив в формы; 19 — вагонетка с формами; 20 — автоклав

формования изделия. Приготовленную массу заливают в металлические формы с уложенными арматурными каркасами и закладными деталями. В формах газосиликатная масса вспучивается, образуя горбушку, которая затем срезается. Конец вспучивания должен совпадать с началом схватывания вяжущего.

В настоящее время на заводах ячеистого бетона все большее применение получает комплексная виброрезательная технология, которая позволяет управлять процессами структурообразования. Она имеет ряд технико-экономических преимуществ по сравнению с литейной технологией: сокращается цикл приготовления смеси, улучшаются свойства ячеистых бетонов, снижается влажность готовых изделий.

Схема производства изделий виброрезательной технологии состоит из следующих операций. В виброгазобетоносмеситель СМС-40 или гидродинамический смеситель ГДС-3 подают подогретые воду и песок в виде шлама и перемешивают 2 мин, после чего поступает вяжущее и смесь перемешивается 1 мин. Затем вводят алюминиевую пудру и поверхностно-активные вещества и вновь перемешивают 2 мин. Приготовленную высоковязкую смесь заливают в форму, установленную на виброплощадке. После кратковременного вибрирования массив выдерживают до 1 ч в нормальных условиях или в камере микроклимата с температурой около 50°C, при этом массив приобретает прочность 0,04...0,06 МПа. После этого бортоснастку снимают и массив разрезают с помощью машины СМ-1211 на отдельные блоки и направляют в автоклав. Из автоклава изделия поступают на склад готовой продукции. При необходимости получения изделий и высококачественной отделки последние направляют на калибровочную линию.

Линия для калибровки фрезерованием и отделки ячеистобетонных изделий (рис. 8.10) производит высококачественную отделку фрезерованием лицевых поверхностей блоков или панелей (рис. 8.11), обеспечивает получение различных рельефных

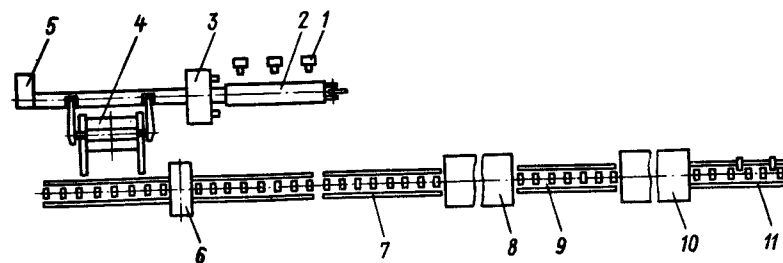


Рис. 8.10. Линия для калибровки фрезерованием и отделки ячеистобетонных изделий:

1 — фиксирующий упор; 2 — тележка; 3 — фрезерный агрегат; 4 — кайтователь; 5 — фрезерный агрегат; 6 — фрезерный агрегат; 7 — I пост отделки; 8 — I сушильная камера; 9 — II пост отделки; 10 — II сушильная камера; 11 — пост снятия панели с линии

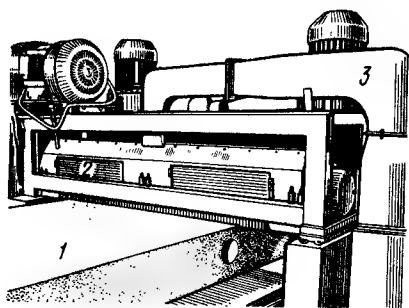


Рис. 8.11. Фрезерный агрегат:
1 — панель; 2 — фрезерующее устройство; 3 — вентиляционное устройство

ПАВ — 0,075 кг. Водотвердое отношение — 0,38.

Изделия из ячеистых бетонов изготавливают армированными и неармированными. В армированных силикатных бетонах стальная арматура, а также закладные детали больше подвержены коррозии, чем в цементных бетонах. Поэтому стальную арматуру в ячеистых изделиях покрывают цементно-казеиновыми, полимерцементными составами, а также применяют металлизацию арматурной стали.

Ячеистые силикатные бетоны делят: на теплоизоляционные, имеющие плотность до 500 кг/м^3 и прочность при сжатии до 25 МПа; конструктивно-теплоизоляционные плотностью $500...800 \text{ кг/м}^3$ и прочностью при сжатии $2,5...7,5 \text{ МПа}$; конструктивные плотностью выше 850 кг/м^3 и прочностью $7,5...15,0 \text{ МПа}$. Изделия из ячеистого силикатного бетона достаточно морозостойки.

Применяют ячеистые силикатные изделия для наружных стен зданий, перегородок, а также для покрытий промышленных зданий; при этом эффективно используются несущие и теплоизоляционные качества ячеистых бетонов.

§ 8.11. Экономика производства и применения изделий из силикатного бетона

Объем производства силикатобетонных конструкций в одиннадцатой пятилетке достиг 6,0 млн. м^3 , в том числе стеновые панели из ячеистого бетона составляют — 1,3 млн. м^3 , мелкие блоки и перегородочные плиты — 1,75 млн. м^3 , теплоизоляционные плиты — 1,87 млн. м^3 , изделия из плотного бетона — 0,5 млн. м^3 .

Широкое применение силикатобетонные конструкции нашли в жилищном строительстве. Наиболее рациональным при этом является использование газосиликатных бетонов, имеющих малые плотность и теплопроводность, в качестве материала для самонесущих конструкций, наружных стен, а плотность силикатных бетонов с армированием, имеющих плотность $2000...2200 \text{ кг/м}^3$ и

профилей и нанесение на них полимерминеральных составов разных цветов с приданием гладкой или шероховатой поверхности.

Состав газобетона плотностью 600 кг/м^3 , применяемый при виброрезательной технологии, следующий: портландцемента М400 — $95...110 \text{ кг}$, извести — $110...120 \text{ кг}$, песка в шламе — 280 кг , смеси портландцемента с молотым песком — 110 кг , гипса двуводного — 6 кг , ПАК-3 — $0,5 \text{ кг}$ и

достаточную прочность, — для изготовления несущих панелей внутренних стен и перекрытий.

В табл. 8.5, 8.6 приводятся технико-экономические показатели перспективных конструкций наружных и внутренних стен и перекрытий из материалов, имеющих в настоящее время массовое распространение в строительстве, а также намеченных к широкому применению в ближайшие годы. Удельные капитальные вложения на единицу конструктивного элемента рассчитывались с учетом вложений в сопряженные отрасли, т. е. на изготовление основной конструкции и исходных материалов.

Как видно из табл. 8.5, наилучшие технико-экономические показатели имеют наружные стены из газосиликатобетонных панелей, а блочные конструкции из плотного силикатного бетона имеют преимущество перед конструкциями из штучной кладки. В группе внутренних стен (табл. 8.6) наиболее экономически эффективными по всем показателям являются армосиликатобетонные панели.

При анализе работы отдельных предприятий наблюдаются большие резервы снижения себестоимости производства силикатобетонных изделий. В основном эти резервы заключаются в снижении удельного расхода сырья и материалов, затраты на которые составляют около 40% всей стоимости конструкции.

Значительный экономический эффект дает организация конвейерного производства газобетона по виброрезательной технологии. Благодаря такой технологии достигается высокое качество изделий при значительном сокращении парка форм, увеличении коэффициента заполнения автоклавов, снижении издержек на автоклавную обработку в связи с сокращением расхода пара, уменьшении амортизационных расходов и затрат на текущий ремонт.

Расчеты показывают, что с применением виброрезательной технологии производства газобетона достигается снижение себестоимости в пределах $1,3...1,5 \text{ руб/м}^3$ и удельных капитальных вложений на $2,5...3 \text{ руб/м}^3$ по сравнению с литьевой технологией, принятой в типовых проектах. Снижение удельных капитальных вложений определяется уменьшением в $1,5...2$ раза металлоемкости технологического оборудования в связи с запариванием на поддонах или специальных легких решетках, а также уменьшением количества автоклавов, поскольку сокращается цикл запаривания до $12...15 \text{ ч}$ и увеличивается коэффициент заполнения автоклавов.

Сопоставление технико-экономических показателей конструкций из различных материалов с конструкциями из силикатобетона показывает, что уже при современных технико-экономических показателях производства и монтажа увеличение удельного веса применения силикатобетонных крупнопанельных конструкций в общем объеме конструкций для крупнопанельного домостроения позволяет добиться значительного снижения стоимости строительства.

Таблица 8.5. Техно-экономические показатели наружных стен из различных перспективных материалов (на 1 м² стены)

Наименование конструкций	Тип конструкции по статической работе	Масса конструкции, кг	Стоимость в «деле», руб.	Расход основных материалов							Затраты труда (на заводе, строительной площадке, чел-дн)	Удельные капитальные вложения с учетом затрат в смежные отрасли, руб.
				вязующих, кг			заполнителей					
				це-мента	изве-сти	щеб-ня, м ³	пес-ка, м ²	стали, кг	кирпича, шт.	утеплителя, м ²		
Стена из обычного керамического кирпича толщиной 66 см Стена толщиной 53 см из эффективного керамического кирпича размером 250×120×88 см Стена из силикатного кирпича толщиной 66 см Крупноблочная шлакобетонная стена толщиной 50 см Крупноблочная стена из силикатных блоков с щелевыми пустотами толщиной 50 см	Несущая	1185	18,5	30	—	—	1,5	1,5	256	—	1,4	8,3
	То же	1080	15,5	20	—	—	1,2	1,2	204	—	1,12	7,6
	»	1250	13,8	29	—	—	1,5	1,5	256	—	1,11	5,6
	Несущая	830	15,7	105	—	0,5	3,5	3,5	—	—	0,85	20,9
	То же	780	13,8	5	95	—	0,45	3,0	—	—	0,52	17,4
Трехслойная железобетонная панель, утепленная полужесткими минераловатными плитами толщиной 25 см	Самонесущая	285	14,8	34	—	0,06	0,04	4,3	—	0,16	0,6	14,6
Однослойная стеновая панель из газосиликата толщиной 25 см (ρ = 700 кг/м ³)	То же	175	9,75	2	40	—	0,07	5	—	—	0,44	10,6

Таблица 8.6. Техно-экономические показатели внутренних стен из различных перспективных материалов (на 1 м² стены)

Наименование конструкций	Стоимость в «деле», руб.	Расход основных материалов						Затраты труда (на заводе, строительной площадке), чел.-дн	Удельные капитальные вложения, руб.
		вязующих, кг		заполнителей					
		це-мента	изве-сти	щеб-ня, м ³	пес-ка, м ³	ста-ли, кг	кир-пича, шт.		
Стена из обычного керамического кирпича толщиной 38 см	11,6	17,6	4,9	—	0,10	—	152	1,01	9,8
Стена из силикатного кирпича толщиной 38 см	8,6	17,6	5,0	—	0,10	—	152	1,01	5,2
Стена из крупных шлакоблоков толщиной 40 см	13,2	86,6	1,7	—	—	4,0	—	0,54	10,3
Стена из крупных силикатных блоков плотных с круглыми пустотами толщиной 39 см	10,85	5,7	54,7	—	0,4	3,0	—	0,59	10,1
Железобетонная плоская однослойная панель, изготовленная по касетной технологии, толщиной 12 см	5,5	34,0	—	0,1	0,05	1,38	—	0,49	7,2
Железобетонная плоская однослойная панель, изготовленная по касетной технологии толщиной 14 см	5,8	36,0	—	0,11	0,06	2,74	—	0,48	8,5
Армосиликатная панель толщиной 14 см	4,9	—	25,0	—	0,10	2,0	—	0,43	—

8.В. Асбестоцементные изделия

Асбестоцементом называют искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания смеси, состоящей из цемента, воды и асбеста, который в асбестоцементе армирует цементный камень, обеспечивая высокую прочность изделия при растяжении и изгибе.

Асбестоцемент — композиционный материал. Тонкие волокна асбеста, равномерно пронизывая массу гидратированного цемента, повышают его сопротивление растяжению. Цементный камень играет роль матрицы. Введение арматуры в матрицу обеспечивает получение нового материала, основные механические свойства которого отличаются от свойств матрицы и арматуры, взятых отдельно.

Асбестоцемент имеет высокую механическую прочность при изгибе, небольшую плотность, малую тепло- и электропроводность, стойкость против выщелачивания минерализованными

водами, высокую огнестойкость, водонепроницаемость и морозостойкость. Недостатками асбестоцемента являются пониженная прочность при насыщении водой, хрупкость и коробление при изменении влажности.

§ 8.12. Общие сведения и классификация асбестоцементных изделий

Основным сырьем для производства асбестоцементных изделий являются хризотил-асбест и портландцемент. В зависимости от вида изделий, а также качества (сорта) используемого асбеста (сорта) содержание его в изделиях составляет 10...20%, а портландцемента соответственно — 80—90%.

При производстве цветных асбестоцементных изделий наряду с асбестом и цементом применяют красители, а также цветные лаки, эмали и смолы. Для снижения утечки газа внутренние поверхности асбестоцементных газопроводных труб покрывают смолами.

Асбестоцементные изделия производят более 40 видов. Они подразделяются на листы, трубы, панели и плиты, фасонные детали. Листы производят разные по форме, размерам, виду отделки, способу изготовления и назначению. По форме различают листы плоские и профилированные, а профилированные делят на волнистые, двойкой кривизны и фигурные. Волнистые листы бывают низкого, среднего и высокого профиля, размером в длину до 2000 мм — мелкоразмерные и более 2000 мм — крупноразмерные. В зависимости от назначения различают листы кровельные, стеновые, облицовочные, для элементов строительных конструкций и электротехнические. Трубы асбестоцементные бывают напорные и безнапорные, круглого и прямоугольного сечения, а в зависимости от назначения — водопроводные, газопроводные, канализационные, вентиляционные, обсадные и муфты. Панели и плиты классифицируют по назначению, технологии изготовления и конструкции. По назначению панели и плиты подразделяют на кровельные (покрытия и подвесные потолки), стеновые и перегородки; их производят как цельноформованные, так и из отдельных элементов — сборные, а по конструкции — неутепленные, утепленные и акустические.

Широкое применение для промышленного, жилищного, гражданского и сельского строительства получили кровельные изделия. В промышленном строительстве применяют кровельные изделия для неутепленных и утепленных покрытий. Для неутепленных покрытий в горячих цехах и неотапливаемых складских зданиях используют волнистые (рис. 8.12, а) и полуволнистые (рис. 8.12, б) большеразмерные листы с фасонными деталями. Для утепленных покрытий применяют полые и лотковые плиты. Полые плиты представляют собой два профилированных асбестоцементных листа, соединенных алюминиевыми заклепками и имеющих внутри прокладку из минеральной ваты. Лотковые

плиты — это асбестоцементные лотки, заполненные теплоизоляционным материалом.

Волнистые листы периодического профиля применяют для устройства стеновых ограждений здания различного назначения.

Листы асбестоцементные волнистые унифицированного профиля УВ-7,5 применяют для устройства бесчердачных, а также утепленных кровель и стеновых ограждений промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений. Их производят длиной 1750, 2000 и

2500 мм, шириной 1125 мм и толщиной 7,5 мм. Эти плиты обладают высокой прочностью при изгибе не менее 20 МПа и плотностью не менее 1700 кг/м³, морозостойкостью F50. Их изготавливают на автоматизированных линиях беспрокладочным способом.

Листы асбестоцементные волнистые унифицированного профиля УВ-6 выпускают длиной 1750, 2000 и 2500 мм, шириной 1125 мм и толщиной 6,0 мм, с шагом волны 200 мм и высотой рядовой волны 54 мм, пределом прочности при изгибе не менее 18 МПа, плотностью 1700 кг/м³ и морозостойкостью не менее F25. Листы УВ-6-1750 применяют для чердачных кровель жилых и общественных зданий, листы УВ-6-2000 — для свесов чердачных кровель и стеновых ограждений производственных зданий и УВ-6-2500 — для стеновых ограждений зданий и сооружений.

Листы асбестоцементные волнистого профиля СВ-40 используют для кровельных покрытий в массовом жилищном строительстве, а также для стеновых ограждающих конструкций промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений. Их выпускают длиной 1750 мм и 2500 мм, шириной 1130 мм и толщиной 5 и 6 мм, с шагом волны 150 мм и высотой 40 мм.

Плиты асбестоцементные облицовочные с покрытием из полиэфирного асбестопластика применяют для внутренней облицовки зданий. Плиты отличаются своеобразной декоративной поверхностью, которую нельзя получить обычными методами окраски и офактуривания. Покрытие асбестоцементных плит асбестопластиками увеличивает их ударную вязкость и уменьшает водопоглощаемость. Двустороннее покрытие асбестопластиковыми пленками увеличивает механическую прочность облицовочных плит при изгибе до 30%. Поверхность облицовочных плит может быть глянцевой или матовой; в зависимости от состава пигментов и способа нанесения покрытия — однотонной или мраморной.

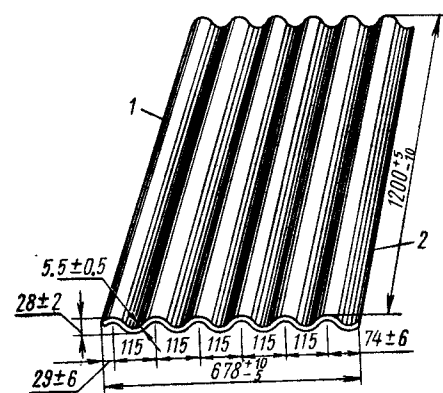


Рис. 8.12. Волнистый лист обыкновенного профиля ВО:

1 — накрывающая кромка; 2 — накрываемая кромка

моровидной, различных оттенков и самого разнообразного рисунка.

Плиты асбестоцементные плоские облицовочные предназначены для облицовки стен вестибюлей метро, магазинов, а также изготовления отделочных архитектурных деталей и других элементов зданий. Их производят обычными серыми и окрашенными эмалями, с рельефным рисунком. Для окраски применяют перхлорвиниловые, кремнийорганические, водоземлюлионные и другие эмали, фасадные краски и лаки. Окраска плит должна производиться в специальных цехах пульверизационным, наливным или электростатическим способом. По способу производства плиты изготовляют прессованными и непрессованными.

Листы асбестоцементные плоские применяют для производства стеновых панелей, плит покрытий, сантехкабин, перегородок, устройства транспортных галерей, вентиляционных шахт, подвесных потолков, для внутренней и наружной облицовки жилых и общественных зданий. Листы прессованные и непрессованные могут выпускаться неокрашенными и окрашенными эмалями; на белом и цветном цементах, гладкими и тисненными, а в зависимости от назначения — обрезные и необрезные.

Изделия асбестоцементные стеновые выпускают для наружной и внутренней облицовки стен, как стеновые панели (рис. 8.13) и перегородки. Для наружной облицовки стен применяют серые и цветные тисненные изделия, цветные прессованные плитки; для внутренней облицовки используют листы, в которых лицевая сторона окрашена водонепроницаемыми цветными эмалями и лаками.

Плиты асбестоцементные стеновые унифицированные представляют собой легкую трехслойную конструкцию с креплением фасадных асбестоцементных цветных листов к деревянному каркасу алюминиевыми раскладками, а внутренней асбестоцементной обшивки из серых листов — шурупами «впотай»; в качестве утеплителя применяют стекловатные плиты (рис. 8.13). Стеновые панели производят длиной до 6000 мм, шириной 3300 мм и толщиной 140...170 мм.

Трубы асбестоцементные производят напорные, безнапорные и вентиляционные; применяют для сетей водопровода и теплофикации, нефте- и газопровода. В настоящее время отечественная промышленность производит трубы асбестоцемент-

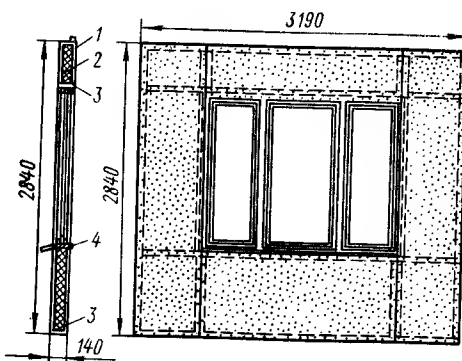


Рис. 8.13. Асбестоцементная стеновая панель:

1 — асбестоцементный лист; 2 — утеплитель; 3 — бруски; 4 — подоконник и слив

ные с газонепроницаемыми покрытиями из полимерных материалов. Эти трубы являются наиболее экономичными и достаточно надежными заменителями стальных труб. Асбестоцементные трубы с полимерными покрытиями обладают высокой водо-, бензо- и маслостойкостью, достаточной механической прочностью, хорошей адгезией к асбестоцементу. Некоторые водопроводные трубы по максимальному рабочему давлению подразделяются на классы: до 0,6 МПа — класс ВТ6, до 0,9 МПа — класс ВТ9, до 1,2 МПа — класс ВТ12, до 1,5 МПа — класс ВТ15, до 1,8 МПа — класс ВТ18.

Трубы газопроводные по максимальному рабочему давлению подразделяются на марки: ГАЗ-НД — для газопроводов низкого давления (до 0,005 МПа), ГАЗ-СД — среднего давления (до 0,3 МПа).

Короба асбестоцементные прямоугольного сечения предназначены для устройства вентиляции воздуха производственных вспомогательных и бытовых помещений, промышленных, жилых и гражданских зданий. Короба бесшовные без раструбов изготавливают из тонкостенных труб специальной навивки, свежесформованными на трубоформовочных машинах. Для придания свежесформованной трубе прямоугольной формы в нее вставляют деревянный сердечник, состоящий из трех частей клиновидной формы. Затем короба укладывают штабелем и выдерживают 1...2 дня, после чего сердечники вынимают, а короба складывают для дальнейшего затвердевания. Короба изготовляют длиной 4000 мм с внутренним сечением 150 × 300, 200 × 200, 200 × 300 мм и толщиной стенок 9 мм. Короба имеют высокую прочность, предел прочности при изгибе не менее 16 МПа, плотность 1600 кг/м³.

Доски асбестоцементные электротехнические дугостойкие (АЦЭИД) служат для изготовления деталей, панелей, щитов и оснований электрических аппаратов и машин, подвергающихся действию высоких температур и электрического разряда. Асбестоцементные наматы (заготовки) для АЦЭИД изготовляют на листоформовочных машинах и разрезают на форматы установленной длины, ширины и толщины. Форматы укладывают на металлические прокладки и прессуют при давлении до 20 МПа. После этого доски на прокладках твердеют 10...16 ч, затем их отделяют от прокладок, обрезают и складывают.

Из асбестоцемента производят специальные асбестоцементные изделия. К ним относятся крупногабаритные фигурные листы, применяемые для сводчатых покрытий, градилен, зерносушилок и пр.

§ 8.13. Материалы для производства асбестоцементных изделий

● Портландцемент применяют в качестве вяжущего для производства асбестоцементных изделий. Он должен быстро гидратироваться, но сравнительно медленно схватываться. Нараста-

ние прочности изделия должно происходить достаточно быстро для перехода полуфабриката в готовую продукцию.

Схватывание и твердение цемента осуществляется в специфич. условиях. Начальная гидратация протекает при очень большом водоцементном отношении. В процессе отсоса жидкой фазы происходит фильтрование части новообразований и мелких зерен клинкера и, кроме того, физико-химическое воздействие асбеста на процессы твердения цемента в композиции. Для удовлетворения требований ГОСТ 9835—77 для производства асбестоцементных изделий используют специальный портландцемент с удельной поверхностью 2200...3200 см²/г. Количество добавок в цементе устанавливают с согласия потребителя, но не более 3% (за исключением гипса). Гипс добавляют для регулирования сроков схватывания в количестве не менее 1,5% и не более 3,5% от массы цемента, считая на SO₃.

По минералогическому составу портландцемент должен быть алитовым (с содержанием трехкальциевого силиката не менее 52%), обеспечивающим высокую производительность формовочных машин и интенсивное нарастание прочности асбестоцемента. Содержание трехкальциевого алюмината ограничивается, так как он дает малую прочность асбестоцементных изделий и низкую морозостойкость; свободный оксид кальция в цементе не должен превышать 1%, а оксид магния — 5%.

Формование асбестоцементных изделий продолжается дольше, чем изделий из бетона. В связи с этим начало схватывания у цемента для асбестоцементных изделий должно наступать несколько позже, чем у обычного портландцемента, — не ранее 1,5 ч с момента затворения водой, а конец — не позднее 10 ч после начала затворения.

● **Асбестом называют группу минералов, имеющих волокнистое строение и при механическом воздействии способных распадаться на тончайшие волокна.** В производстве асбестоцементных изделий применяют хризотил-асбест. Мировая добыча хризотил-асбеста составляет 95%, а вся группа кислотостойких асбестов — не более 5%. Химический состав хризотил-асбеста (теоретический) выражается формулой $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, т. е. он является гидросиликатом магния.

Молекулы асбеста прочно связаны между собой лишь в одном направлении, боковая же связь с соседними молекулами крайне слаба. Этим свойством объясняется очень высокая прочность асбеста на растяжение вдоль волокон и хорошая распушиваемость — расщепление поперек волокон. Диаметр волокна хризотил-асбеста колеблется от 0,00001 до 0,000003 мм, практически хризотил-асбест распушивается до среднего диаметра волокон 0,02 мм; следовательно, такое волокно является пучком огромного количества элементарных волокон. В среднем предел прочности при растяжении волокон асбеста равен 3000 МПа. Но так как при распушке волокна асбеста подвергаются сжимающим, ударным и другим воздействиям, то прочность волокон

после распушки снижается до 600...800 МПа, что соответствует прочности высококачественной стальной проволоки.

Асбест обладает большой адсорбционной способностью. В смеси с портландцементом при смачивании водой он адсорбирует, т. е. хорошо удерживает на своей поверхности продукты гидратации цемента, связывающие волокна асбеста, поэтому асбестоцемент является как бы тонкоармированным цементным камнем. Хризотил-асбест негорюч, однако при температуре 110°C он начинает терять адсорбционную воду, предел прочности при растяжении снижается до 10%, а при 368°C испаряется вся адсорбционная вода, что приводит к снижению прочности на 25...30%. После охлаждения асбест восстанавливает из воздуха потерянную влагу и прежние свойства. При нагревании асбеста до температуры более 550°C удаляется химически связанная вода, теряются эластичность и прочность, асбест становится хрупким, и после охлаждения свойства его не восстанавливаются. При температуре около 1550°C хризотил-асбест плавится. Асбест имеет малую тепло- и электропроводность, высокую щелочестойкость и слабую кислотостойкость.

Качество асбестоцементных изделий во многом зависит от качества асбеста и тонкости помола цемента. В соответствии с ГОСТом качество хризотил-асбеста характеризуется следующими показателями: текстурой (степень распушенности волокон), средней длиной волокна, эластичностью, влажностью, степенью засоренности пылью.

Наибольшее влияние на качество продукции оказывает длина волокон асбеста, поэтому она является основным признаком, по которому асбест делят на сорта и марки. В зависимости от длины волокон установлено восемь сортов хризотил-асбеста. Асбест с наиболее длинными волокнами (более 18 мм) относят к 0-му и 1-му сортам, а с наиболее короткими (менее 1 мм) — к 7-му сорту. Для производства асбестоцементных изделий применяют 3, 4, 5 и 6-й сорта с длиной волокон от 10 мм и менее до нескольких сотых.

● **Вода в производстве асбестоцементных изделий потребляется на приготовление асбестоцементной смеси и промывку сукон и сетчатых цилиндров формовочной машины.** Вода, применяемая для производства асбестоцементных изделий, не должна содержать глинистых примесей, органических веществ и минеральных солей. Глинистые частицы, осаждаясь на поверхности асбестовых волокон, уменьшают их сцепление с цементом, затрудняют фильтрацию асбестоцементной суспензии и снижают механическую прочность изделий. Органические примеси замедляют гидратацию вяжущего.

Производство асбестоцементных изделий связано с большим расходом воды. В отходящей воде содержится значительное количество асбеста и цемента, поэтому ее возвращают в технологический цикл. Работа на оборотной технологической воде позволяет не только избежать загрязнения среды, но и дает преимуще-

щества. Насыщенность оборотной воды ионами Ca^{2+} и SO_4^{2-} препятствует вымыванию гипса и предотвращает преждевременное схватывание, отсутствие в ней CO_2 ликвидирует забивание сеток карбонатом кальция. Наиболее благоприятной является температура 20...25°C. При температуре ниже 10°C производительность формовочных агрегатов падает, а твердение изделий замедляется. Слишком же высокая температура воды может вызвать быстрое схватывание цемента.

● Краски используют для окраски стеновых плиток и листов. Применяют цветные цементы или минеральные щелочестойкие пигменты, обладающие высокой красящей способностью, светостойкостью и атмосферостойкостью и не взаимодействующие с продуктами гидратации цемента. Это редоксайд (искусственный железистый оксидный), сурик железный, природная мумия, охра, оксид хрома, ультрамарин, пероксид марганца и др. Листы, предназначенные для облицовки стен и панелей санитарных узлов и кухонь, покрывают водонепроницаемыми эмалями и лаками, полученными на основе полимеров (глифталевых, перхлорвиниловых, нитроцеллюлозных).

§ 8.14. Производство асбестоцементных изделий

В настоящее время существует три способа производства асбестоцементных изделий: мокрый способ — из асбестоцементной суспензии, полусухой — из асбестоцементной массы и сухой — из сухой асбестоцементной смеси. Наиболее широкое распространение получил мокрый способ. Два других применяют только в опытных установках.

● Технологическая схема производства асбестоцементных изделий мокрым способом состоит из следующих основных процессов: складирования и хранения основных материалов; составления смеси асбеста из нескольких сортов и марок, распушки смеси асбеста, приготовления асбестоцементной массы, силосования (складирования) асбестоцементной массы, формования асбестоцементных изделий (облицовочные листы и кровельные плитки дополнительно прессуются), предварительного твердения отформованных изделий, механической обработки изделий, твердения изделий, складирования.

Асбест доставляют на заводы в бумажных мешках в железнодорожных вагонах. На заводе хранят в закрытом складе на деревянном полу в отдельных отсеках для разных марок и сортов. Если асбест поступил на склад в таре, то его можно хранить в штабелях. Над каждым отсеком или штабелем указывают сорт и марку асбеста.

Для изготовления изделий устанавливают состав смеси асбеста. Так, для асбестоцементных волнистых листов, применяемых для покрытия кровель жилых зданий, смесь асбеста установлена следующая: 50% асбеста 5-го сорта, 50% асбеста

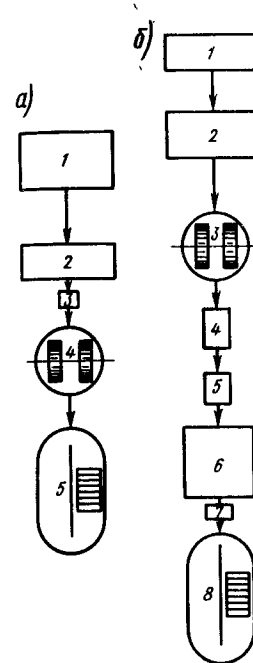


Рис. 8.14. Схемы распушки асбеста: а — мокрым способом: 1 — склад асбеста, 2 — участок для составления смеси асбеста; 3 — дозатор; 4 — бегуны с увлажнением асбеста; 5 — голлендер; 6 — сухим способом: 1 — склад асбеста; 2 — участок для составления смеси асбеста; 3 — бегуны; 4 — дезинтегратор (пушитель); 5 — эксгаузер; 6 — камеры распушеного асбеста; 7 — дозатор; 8 — голлендер

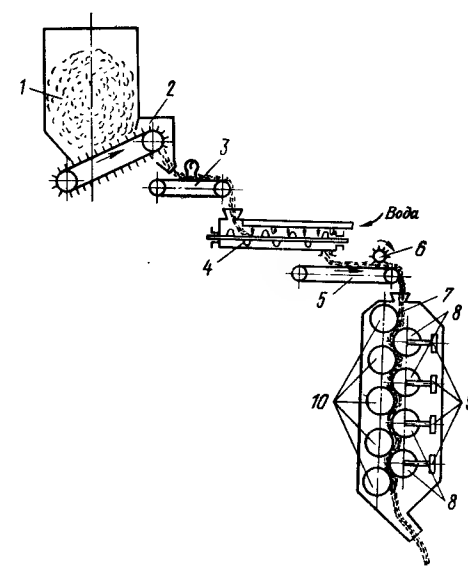


Рис. 8.15. Механизированная установка для смешивания, увлажнения и обмина смеси асбеста:

1 — бункер асбеста; 2 — питатель; 3 — дозатор; 4 — смеситель-увлажнитель; 5 — разравнивающее устройство; 6 — разравнивающий валик; 7 — валковая машина; 8 — свободно вращающиеся валки; 9 — пневматическое устройство; 10 — приводные валки

6-го сорта, причем общее содержание мягкой текстуры не должно превышать 50%, в том числе содержание в смеси асбеста М-60-40 не должно быть более 15%. Сорта асбеста и их процентное содержание в применяемых смесях нормируют специальными технологическими картами.

Распушка асбеста определяет в значительной мере качество продукции. Различают три вида распушки: сухую, мокрую и полусухую.

При сухом способе (рис. 8.14) распушку производят на бегунах и пушителях. В бегунах разминаются пучки асбеста, нарушается связь между волокнами, а в пушителе (дезинтеграторе) происходит дальнейшее расщепление размятых пучков на отдельные волокна. Окончательно же распушиваются волокна асбеста в аппарате для приготовления асбестоцементной массы — голлендере.

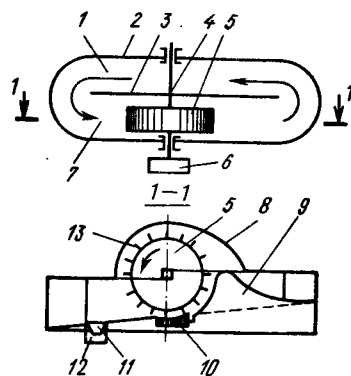


Рис. 8.16. Голлендер периодического действия:

1, 7 — каналы; 2 — ванна; 3 — перегородки; 4 — вал барабана; 5 — ножевой барабан; 6 — шкив; 8 — съемный кожух; 9 — горка; 10 — рамка с ножами; 11 — клапан; 12 — патрубок; 13 — ножи

сшивают до получения однородной асбестоцементной массы. Голлендер (рис. 8.16) представляет собой металлическую или железобетонную ванну, разделенную посередине продольной перегородкой, не достигающей до краев. В одной половине ванны расположен барабан, снабженный стальными ножами. Под барабаном на дне ванны помещена чугунная коробка, в которой находится гребенка, расположенная под углом $1,5...2,5^\circ$ к оси барабана. Ванну наполовину заполняют водой, затем подают предварительно распушенный асбест. При вращении барабана ($180...240 \text{ мин}^{-1}$) смесь увлекается в зазор между ножами барабана и гребенкой, перебрасывается через горку, проходит по ванне и вновь попадает под барабан. Циркуляция смеси продолжается до 10 мин, степень распушки волокна при этом должна составлять $90...95\%$. Затем загружают цемент, добавляют воду и производят дополнительное перемешивание. К концу перемешивания почти весь цемент адсорбируется на волокнах асбеста. Дозировка составляющих асбестоцементной массы равна: асбеста — $10...18\%$, цемента — $82...90\%$; для производства труб: воды — 97% , а листовых асбестоцементных материалов — около 95% .

Голлендер — аппарат периодического действия. Для непрерывного питания формовочной машины необходимо создать запас асбестоцементной массы в ковшом смесителе (чане), который бы периодически пополнялся из голлендера. Перемешивание находящейся в ней массы осуществляется крестовиной с лопастями. На одном валу с крестовиной находится каркасный круг — «ковшовый элеватор». Ковши зачерпывают массу из чана и подают в приемную коробку листоформовочной или трубоформовочной машины.

При мокром способе распушки (рис. 8.14, а) асбест замачивают в воде 3...5 дней, затем смесью разминают на бегунах. Вода проникает в микрощели и оказывает расклинивающее действие, вследствие чего волокна распушиваются легче и лучше. Увлажнение асбеста повышает эластичность волокон, что увеличивает сопротивление излому при обработке на бегунах.

В настоящее время для обминания асбеста все большее распространение получает валковая машина (рис. 8.15). В отличие от бегунов эта машина выпускает высококачественный обмятый асбест непрерывным потоком.

Окончательно асбест распушивается в голлендере, а затем в него добавляют цемент и воду и переме-

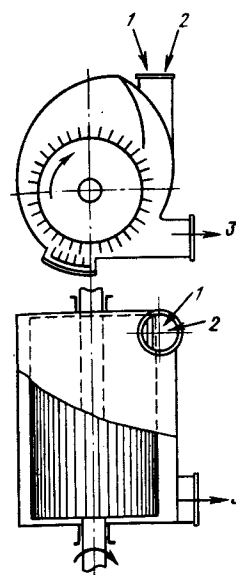


Рис. 8.17. Голлендер непрерывного действия:

1 — поступление асбеста; 2 — поступление воды; 3 — выход асбестовой суспензии

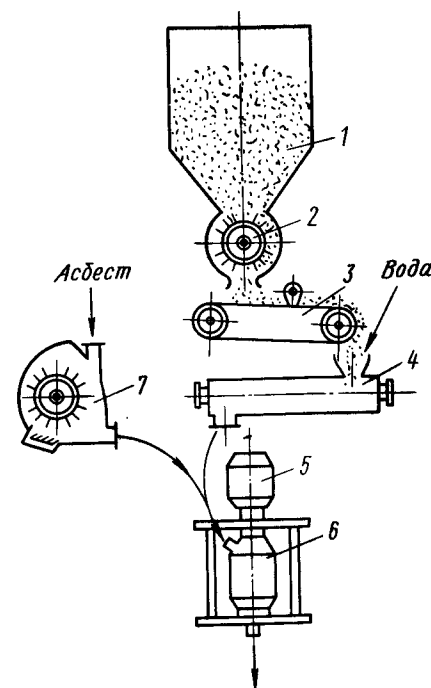


Рис. 8.18. Технологическая схема приготовления асбестоцементной суспензии непрерывным способом:

1 — расходный бункер цемента; 2 — роторный питатель; 3 — дозатор; 4 — аппарат для приготовления цементной суспензии; 5 — электродвигатель; 6 — винтовой смеситель; 7 — голлендер непрерывного действия

В настоящее время на предприятиях отечественной промышленности внедряются голлендеры непрерывного действия (рис. 8.17) большой производительности. Вода и асбест непрерывно загружаются в ванну с одного конца голлендера, а готовая асбестовая суспензия выливается с другого конца. Производительность голлендера непрерывного действия соответствует производительности валкового обминателя.

При использовании голлендера и валковой машины непрерывного действия асбестоцементную массу готовят непрерывным потоком (рис. 8.18). Смешивание непрерывно поступающей асбестоцементной суспензии с цементной суспензией производится в винтовом смесителе, а оттуда асбестоцементная масса поступает в ковшовый смеситель или непосредственно в ванну формовочной машины.

Формование является наиболее важным процессом в производстве асбестоцементных изделий. Формуют изделия на листоформовочных и трубоформовочных машинах. Листоформовоч-

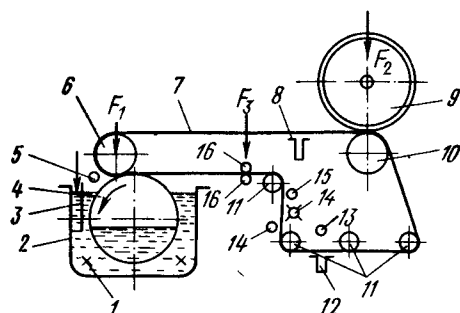


Рис. 8.19. Схема формовочной машины:

1 — мешалка; 2 — ванна; 3 — перегородка; 4 — сетчатый цилиндр; 5, 13, 15 — промывные трубки; 6 — прижимный вал; 7 — сукно; 8 — верхняя вакуум-коробка; 9 — металлический форматный цилиндр; 10 — опорный (ведущий) вал; 11 — направляющие валики; 12 — нижняя вакуум-коробка; 14 — отбойный валик; 16 — отжимные валы; F_1 , F_2 , F_3 — давления, создаваемые трубами, пружинами или гидравлическими цилиндрами

ная машина (рис. 8.19) состоит из металлической ванны, в которую непрерывно по желобу подается жидкая асбестоцементная масса. В ванну помещен полый каркасный барабан (сетчатый цилиндр), обтянутый металлической сеткой. К поверхности сетчатого цилиндра валом прижимается лента конвейера. Ведущий опорный вал приводит в движение ленту, которая вращает сетчатый цилиндр. Асбестоцементная масса тонким слоем осаждается на поверхности металлической сетки барабана, частично на ней обезвоживается за счет фильтрации воды, размещаясь на движущейся ленте. Асбестоцементная масса, перемещаясь на ленте, проходит через вакуум-коробку, где обезвоживается, затем переходит на вращающийся форматный барабан, навивается на него концентрическими слоями и уплотняется.

При изготовлении листовых асбестоцементных изделий навивают на форматный барабан массу определенной толщины разрезают и снимают с барабана. Полученные листы разрезают на листы установленного размера и подают в пропарочные камеры. Листы, предназначенные для волнировки, после снятия с форматного барабана разрезают на форматы и укладывают в формы на металлические волнистые прокладки.

В целях получения повышенной механической прочности и плотности асбестоцементные листовые изделия прессуют на гидравлических прессах под давлением до 40 МПа. Для приобретения изделиями в кратчайшие сроки необходимой прочности их пропаривают или выдерживают сначала на воздухе при нормальной температуре, а затем в бассейнах с теплой водой.

Твердение асбестоцементных листовых изделий, изготовленных на портландцементе, происходит в две стадии. Первая — предварительное твердение в пропарочных камерах периодического действия (ямных или туннельных) при температуре 50...60°C в течение 12...16 ч. После пропаривания листовые изделия освобождают от металлических прокладок и подвергают механической обработке (обрезке кромок, пробивке отверстий и т. п.). Окончательно отформованные листы направляют в утепленный склад, где происходит вторая стадия твердения в течение не ме-

нее 7 сут. Асбестоцементные изделия, изготовленные на песчанистом портландцементе, после формования направляют в автоклавы для запарки при температуре 172...174°C и рабочем давлении до 0,8 МПа. По достижении необходимой прочности изделия подвергают механической обработке.

При изготовлении асбестоцементных труб технологический процесс распушки асбеста и приготовления асбестоцементной массы аналогичен процессу производства листовых материалов. Конструкция трубоформовочной машины сходна с конструкцией листоформовочной машины. Отличие заключается в том, что трубоформовочная машина имеет один сетчатый цилиндр, так как количество прокатываний формируемой трубы, от которых зависят ее плотность и прочность, уменьшается с увеличением количества цилиндров. Чем больше цилиндров, тем интенсивнее подается масса для формования трубы и тем меньше продолжительность формования. При производстве труб вместо форматного барабана применяют форматную скалку, на которую навивают массу. При этом волокна асбеста в основном располагаются по окружности барабана в направлении его вращения. Это обстоятельство имеет существенное значение для обеспечения прочности напорных труб. Стенка асбестоцементной трубы может быть любой толщины.

По окончании процесса навивания на форматный цилиндр скалку с трубой снимают и устанавливают новую. Для облегчения снятия со скалки трубу развальцовывают и отправляют на площадку предварительного твердения. Трубы длиной 3000 мм поступают на площадку вместе с форматными скалками, а трубы большей длины — с деревянными сердечниками.

Предварительное твердение асбестоцементных труб происходит на конвейере (рис. 8.20), состоящем из металлического каркаса, по которому движутся три бесконечные цепи, приводящие в движение валики. Последние катятся по настилу, вращая при этом находящиеся на них трубы. Трубы укладываются на валики верхней цепи и, дойдя до конца, поступают на среднюю цепь, пе-

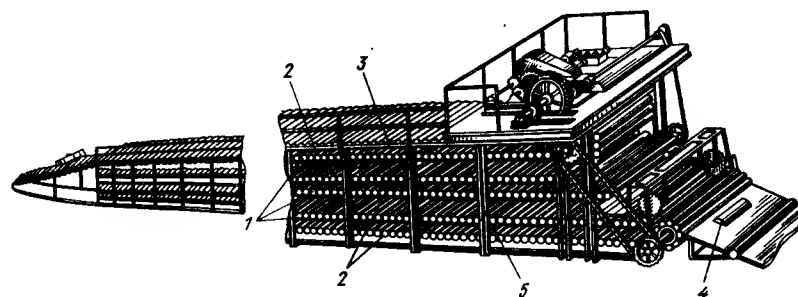


Рис. 8.20. Общий вид конвейера для твердения трехметровых труб:

1 — валики; 2 — бесконечная цепь; 3 — деревянные бруски; 4 — счетно-маркировочное устройство; 5 — металлический каркас

редвигаются в обратном направлении и попадают на нижнюю цепь, а пройдя весь конвейер, отвердевают и направляются в счетно-маркировочное устройство. Дальнейшее твердение труб производится в водных бассейнах в течение 1...3 сут при температуре 40...50°C. После этого трубы поступают на склад, где выдерживаются до 14 сут.

Асбестоцементные трубы подвергают механической обработке: у всех труб обрезают концы, а у водопроводных обтачивают их; часть труб разрезают на кольца, из которых вытачивают муфты для соединения водосточных, канализационных и дымовых труб.

В настоящее время разработан новый комплект оборудования технологической линии автоматизированного производства крупнопанельных асбестоцементных листов на базе плоскосетчатой машины (рис. 8.21). Технологическая линия состоит из двух участков: заготовительного, в котором производится приготовление асбестоцементной массы, и листоформовочного, в котором осуществляется формование изделий. Для приготовления асбестоцементной массы асбестовая шихта подается со склада в бункер питателя асбеста, далее отвешивается дозатором по массе и поступает в смеситель-увлажнитель, в котором асбест перемешивается и увлажняется до 33%. Увлажненная асбестовая шихта подается в валковую машину для обминания асбеста встречно вращающимися гладкими вальками, а из нее поступает в машину для гидравлической распушки, куда одновременно поступает необходимое количество воды для получения асбестовой суспензии. Приготовленная асбестовая суспензия и оттарированный дозатором по массе цемент поступают в смеситель асбестоцементной массы. Перемешивание асбеста с цементом в смесителе происходит в вертикально нисходящем потоке асбестовой суспензии при одновременном воздействии вращающихся и неподвижных лопастей. Приготовленная асбестоцементная масса поступает в ковшовый смеситель, который питает плоскосетчатую листоформовочную машину.

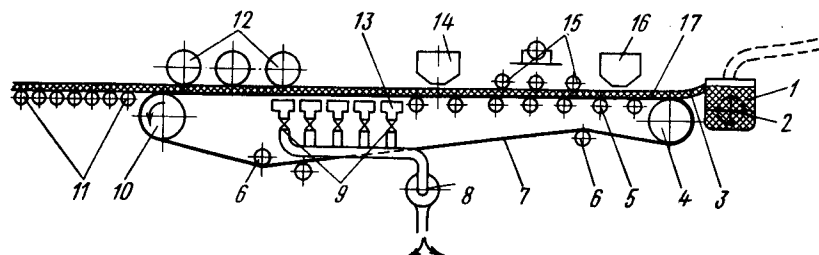


Рис. 8.21. Схема плоскосетчатой листоформовочной машины:

1 — приемный смеситель; 2 — лопастный смеситель; 3 — наклонная плоскость; 4 — натяжной барабан; 5 — поддерживающие валики; 6 — направляющий валик; 7 — сетчатое полотно; 8 — вакуум-насос; 9 — краны; 10 — приводной барабан; 11 — роликотранспортер; 12 — пресс-вал; 13 — вакуум-коробка; 14, 16 — бункера; 15 — уплотняющие вибровалики; 17 — асбестоцементная масса.

Производительность оборудования заготовительного отделения — 60 м³/ч асбестоцементной массы 18%-ной концентрации, что обеспечивает выпуск 12 тыс. усл. пл/ч.

Плоскосетчатая листоформовочная машина обеспечивает непрерывную выдачу асбестоцементной суспензии на сетку машины, осуществляет обезвоживание суспензии, формование асбестоцементной ленты, уплотнение и дополнительное обезвоживание асбестоцементного листа. Отформованная асбестоцементная лента дополнительно уплотняется на прессе, а затем направляется на раскрой сырой асбестоцементной ленты на листы заданных размеров. Последние подвергают волнировке, затем укладывают в стопы и помещают на 3,5...4 ч в специальные камеры предварительного твердения при температуре 40...60°C и влажности 90...95%.

Рассмотренный способ производства асбестоцементных плит снижает себестоимость продукции на 7% по сравнению с существующими. Степень автоматизации этого способа достигает 98% при 100%-ной механизации на основных технологических линиях.

§ 8.15. Цветные асбестоцементные изделия

● Асбестоцементная промышленность выпускает следующие основные виды окрашенных изделий: цветные листы, отформованные из цветной асбестоцементной суспензии; листы с цветной лицевой поверхностью, получаемой при формовании на листоформовочной машине; офактуренные листы и плиты, лицевая поверхность которых покрыта цветными эмалями. При окраске изделий по всей толщине применяют цветной портландцемент заводского изготовления или пигмент, который загружают в аппарат одновременно с цементом. Окрашенные пигментом изделия имеют высокую стоимость (большой расход красителя), пониженную механическую прочность и уступают в декоративном отношении изделиям на цветном цементе.

Изготовление листов с цветной лицевой поверхностью производят путем окраски в процессе формования. Для нанесения на лицевую поверхность листов цветного слоя асбестоцемента на листоформовочной машине устанавливают дополнительно сетчатый цилиндр, в ванне которого находится окрашенная асбестоцементная суспензия, или на первичный слой асбестоцемента посыпают цветной цемент, перед тем как слой подходит в вакуум-коробку (посыпной метод). Этим методом получить интенсивно окрашенную поверхность не удастся, так как через тонкий цветной слой просвечивает серая основная масса листа. Этот метод применяют только для плоских листов, так как при изгибе на цветном не армированном волокнами асбеста слое образуется сеть мельчайших трещин. У плоских же листов получается интенсивно окрашенная лицевая поверхность. Нанесение красочного слоя можно также произвести с помощью пульверизато-

ра или офактуриванием — прокаткой на валках, на поверхности одного из которых выгравирован рисунок.

Для предохранения облицовочных листов от коробления окрашивание их лицевой поверхности производят красками или цветными эмалями. Эти листы должны подвергаться прессованию и иметь гладкую ровную поверхность. Окрашивают листы через 3...4 недели после формования. При влажности более 7% их подсушивают при температуре 50...60°C. Лицевую поверхность предварительно покрывают глифталевой грунтовкой, а затем окрашивают нитроэмалями, перхлорвиниловой и другими эмалями. Для более высокой стойкости облицовочных листов от коробления при увлажнении их тыльную сторону также покрывают грунтовкой. Температуростойкость эмалей невысока (70°C), но все они водонепроницаемы и щелочестойки.

Применяют асбестоцементные листы, покрытые эмалями, для облицовки стен кухонь, санитарных узлов, вестибюлей магазинов и т. д.

§ 8.16. Основные свойства асбестоцементных изделий

● **Свойства асбестоцементных изделий определяют следующими факторами:** качеством цемента, маркой асбеста, их количественным соотношением по массе, степени распушки асбеста, расположением волокон асбеста в изделии, степени уплотнения массы, условиями и продолжительностью твердения, а также влажностью асбестоцемента. Асбестоцементные изделия обладают высокой сопротивляемостью разрыву, изгибу и сжатию. Асбестоцементные непрессованные изделия имеют предел прочности при растяжении 10...17 МПа, при изгибе 16...27 МПа, а прессованные асбестоцементные изделия имеют предел прочности при растяжении 20...25 МПа, а при изгибе — 27...42 МПа. С возрастом механическая прочность и плотность изделий возрастают. Асбестоцемент легко пилится, сверлится и шлифуется. Изделия из асбестоцемента обладают высокой морозостойкостью и водонепроницаемостью, под влиянием влаги не корродируют, поэтому могут применяться без окраски. По сравнению со сталью и чугуном они имеют в несколько раз меньше теплопроводность и (в 3,5...4 раза) плотность. Асбестоцемент обладает высокими электроизоляционными свойствами. Асбестоцементные трубы почти непроницаемы при транспортировании газа, особенно если газопровод проложен во влажных грунтах. Недостатками асбестоцементных изделий являются малое сопротивление удару и коробление.

§ 8.17. Экономика производства асбестоцементных изделий

По объему производства асбестоцементных изделий Советский Союз занимает первое место в мире (табл. 8.7).

Наряду с ростом производства улучшилось и качество асбе-

Таблица 8.7. Объем производства асбестоцементных изделий в СССР

Наименование изделий	1958 г.	1965 г.	1970 г.	1980 г.	1985 г.
Шифер, млн. усл. пл.	2407	4162	5840	7308	8270
Трубы (в пересчете на условный диаметр 200 мм), тыс. усл. км	15,2	32,1	51,1	68,0	76,7

стоцементных изделий (увеличились средняя плотность и механическая прочность шифера). Однако асбестоцементная промышленность пока не обеспечивает потребностей строительства в большеразмерных эффектных профилированных листах для ограждающих конструкций неотапливаемых зданий. Так, не организовано массовое производство прогрессивных кровельных утепленных плит покрытий промышленных и сельскохозяйственных зданий, легких навесных панелей для гражданского и промышленного строительства, специальных гнутых профилированных листов для конвейерных галерей, офактуренных и цветных листов для отделки зданий, панелей и экранов подвесных потолков, ограждений балконов и других целей. Намечается увеличить выпуск крупногабаритных асбестоцементных листов усиленного профиля и других изделий, обеспечивающих экономический эффект; наряду с ростом производства асбестоцементных изделий предусматривается дальнейшее значительное улучшение качества продукции.

Большие резервы совершенствования экономики асбестоцементного производства заключаются в снижении себестоимости продукции. В настоящее время себестоимость асбестоцементных изделий колеблется в значительных пределах по различным заводам. Средняя себестоимость (по кубомассе) 1 км усл. труб — 2126 руб. Разрывы в себестоимости объясняются ассортиментом продукции, расстояниями поставки сырья, уровнем концентрации производства, а также свидетельствуют о значительных резервах снижения себестоимости.

Структура себестоимости основных видов изделий асбестоцементной промышленности приведена в табл. 8.8.

Учитывая, что сырье и материалы преобладают в общих издержках производства асбестоцементных изделий, необходимо на предприятиях усилить контроль за соблюдением технологических норм расхода цемента и асбеста (особенно высоких марок), свести к минимуму потери при хранении и транспортировании сырьевых компонентов.

Снижение удельных расходов заработной платы на единицу продукции связано прежде всего с внедрением механизации и автоматизации технологических процессов. В настоящее время заводы асбестоцементных изделий оборудованы преимущественно установками (бегуны, пушители асбеста, голлендеры и т. д.) по подготовке сырьевой смеси, работающими циклично.

Таблица 8.8. Структура себестоимости основных видов изделий асбестоцементной промышленности

Статьи расходов	Расходы, % к себестоимости	
	волнистые листы ВО	водопроводные трубы
Сырье	60,5	59,8
Вспомогательные материалы	3,0	3,2
Технологическое топливо (пар)	2,8	2,8
Электроэнергия	1,7	1,5
Зарплата производственным рабочим с начислениями	10,2	10,2
Расходы по содержанию оборудования	8,5	10,0
Цеховые расходы	4,6	4,5
Расходы по освоению нового оборудования и производству новых видов изделий	0,4	0,4
Общезаводские расходы	3,3	3,2
Потери от брака	1,7	1,2
Внепроизводственные расходы	3,3	3,2

Внедрение машин непрерывного действия, а также автоматизация производства и повышение производительности машин и аппаратов могут значительно снизить себестоимость продукции. Агрегат беспрокладочной волнировки шифера с конвейером предварительного твердения почти полностью устраняет ручной труд, позволяет отказаться от металлических прокладок (160 т стали на одну технологическую линию), сократить цикл твердения шифера. Большие резервы заключаются в улучшении использования оборудования — увеличении коэффициента среднегодового съема шифера с одной технологической линии.

Все еще имеют место значительные потери от брака, который является результатом нарушений технологического процесса, отсутствия требуемого контроля за состоянием и работой производственного оборудования. Поэтому снижение себестоимости выпускаемой продукции, так же как и получение изделий высокого качества, — основная задача производства.

В структуре выпускаемой продукции в последние годы произошли изменения, связанные с увеличением доли крупноразмерных листов преимущественно для кровель и стеновых ограждений неотапливаемых промышленных зданий. На новых и реконструируемых предприятиях намечается установка высокопроизводительных технологических линий, в том числе по производству крупноразмерных волнистых листов методом вакуумного формования с последующим прессованием окрашенных и облицовочных материалов, длинномерных асбестоцементных труб комплектующих деталей к кровельным листам и трубам и др. Доля крупноразмерных волнистых листов в общем производстве листовых изделий возросла с 4,5% в 1965 г. до 45% в 1985 г.

Вместе с тем доля менее эффективных малоразмерных листов продолжает оставаться значительной.

Разработаны новые конструкции крупноразмерных волнистых листов унифицированного профиля: УВ-6 и УВ-7,5 длиной 1750 и 2500 мм, шириной 1125 мм, толщиной 6 и 7,5 мм, предназначенные для ограждения неотапливаемых зданий, а также чердачных кровель и др. При применении этих листов достигается экономия за счет повышения полезной площади листа, улучшения качества изделий и экономии древесины на обрешетку кровли.

Разработана конструкция нового волнистого листа СВ-40, полезная площадь которого по сравнению с листом ВО больше на 90%, а расход асбестоцемента на 1 м² полезной площади ниже на 5...6%.

Следует отметить, что в составе крупноразмерных листовых изделий лишь небольшая часть приходится на конструктивный шифер с размерами, отвечающими принятой в строительстве модульной системе, а также на листы для утепления плит покрытий и стеновых панелей. Долю этих листов (УВ-7,5 длиной 3300 мм, волнистых армированных длиной до 3300 мм, полых утепляемых плит АС, ПАК, облицовочных плит и др.) в общем объеме крупноразмерных изделий целесообразно увеличить.

ГЛАВА 9

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Развитие народного хозяйства нашей страны неразрывно связано с развитием металлургической промышленности. Чем больше производится металлов, тем больше может быть выпущено станков, автомобилей, тракторов и других машин для народного хозяйства.

Из металлов в строительстве наиболее широко применяют стали и чугуны. Из стального проката возводят каркасы промышленных и гражданских зданий, мосты, изготавливают арматуру для железобетона, кровельную сталь, трубы, а также различные металлические изделия, заклепки, болты, гвозди.

Широкому использованию металла в строительстве способствует ряд ценных технических свойств: высокая прочность, пластичность, повышенная теплопроводность, электропроводность и свариваемость. Наряду с этим металлы обладают и недостатками; при действии различных газов и влаги сильно корродируют, а с повышением температуры деформируются.

Широкому использованию металлов в строительстве способствовало быстрое развитие металлургической промышленности:

Годы	1938	1940	1960	1970	1975	1980	1985
Производство стали, млн. т	4,3	18,3	65,3	116	141	148	155

§ 9.1. Общие сведения о металлах и сплавах

Металлы, применяемые в строительстве, разделяются на две группы: черные и цветные.

● **Черные металлы** представляют собой сплав железа с углеродом. Кроме углерода черные металлы в небольшом количестве могут содержать кремний, марганец, фосфор, серу и другие химические элементы. Для придания черным металлам специфических свойств к ним добавляют некоторые так называемые легирующие вещества — медь, никель, хром и др. Черные металлы в зависимости от содержания углерода подразделяют на чугуны и стали.

Чугун представляет собой сплав железа и углерода 2...4,3%. В специальных чугунах — ферросплавах — количество углерода может достигать 5% и более. Присутствующие в чугуне кремний, марганец, фосфор и сера существенно влияют на его свойства: сера и фосфор повышают хрупкость чугуна, а специальная присадка хрома, никеля, магния, алюминия и кремния придает чугуну более высокие жаростойкость, износостойкость, повышен-

ную сопротивляемость коррозии. Чугуны с добавкой указанных веществ называются легированными. В зависимости от формы, в которой углерод находится в чугуне, различают чугуны серые (литейные) и белые (передельные). В серых чугунах углерод находится в свободном состоянии в виде графита, а в белом — в связанном состоянии в виде цемента. Пластинки графита, перерезающие металлическую структуру чугуна, понижают его прочность. Модифицированный серый чугун имеет более высокие механические свойства благодаря шаровидной и раздробленной форме графита.

Сталь содержит углерода до 2%. В отличие от чугуна — хрупкого металла — сталь пластична, упруга и обладает высокими технологическими свойствами (способностью обрабатываться). В зависимости от назначения различают стали конструкционные, содержащие 0,02...0,85% углерода, и инструментальные — 0,65...1,4%. Конструкционные стали, применяемые для строительных конструкций и арматуры железобетона, а также в машиностроении, обладают хорошей пластичностью, низкой хрупкостью. Повышение же углерода в инструментальных сталях придает им высокую твердость и хрупкость.

Механические и физические свойства сталей (жаростойкость, износостойкость, коррозионная стойкость) повышаются добавкой к ним никеля, хрома, вольфрама, молибдена, кобальта, меди, алюминия и др., называемых легирующими веществами, а стали — легированными. В зависимости от величины легирующих добавок различают стали низколегированные, содержащие до 2% легирующих веществ, среднелегированные — 2...10% и высоколегированные — более 10%. Строители широко применяют низколегированную сталь. Нержавеющая сталь является высоколегированной.

● **Цветные металлы и сплавы** подразделяются по плотности на легкие и тяжелые. К легким относятся сплавы на основе алюминия, магния, а к тяжелым — на основе меди, никеля, олова, свинца. За последние годы в технологии металлургии внедрены новые усовершенствования: освоен эффективный метод вакуумной обработки живой стали; получены новые виды высокопрочных сталей и чугунов; разработана эффективная технология получения алюминия из нефелинов; освоены новые виды облегченного проката, гнутого из лент и полос, диффузионный метод сварки металлов в вакууме, легирование с вакуумной обработкой, широко развивается порошковая металлургия.

В двенадцатой пятилетке будет ускоренно развиваться производство холоднокатаного листа, проката с упрочняющей термической обработкой и из низколегированных сталей, листа и жести, фасонных и высокопрочных профилей проката, экономических и специальных видов стальных труб и арматуры из низколегированной стали и др.

● **Строение металлов и их свойства.** Металлы и металлические сплавы представляют собой кристаллические тела, состоящие из

бесчисленного множества кристаллических образований, группирующихся в виде отдельных прочно связанных между собой зерен. Большинство их имеет кубическую объемно центрированную (хром, ванадий, молибден, вольфрам и некоторые другие) и кубическую гранецентрированную решетки (алюминий, медь, никель, свинец, золото и серебро). Железо может быть в нескольких кристаллических формах с различным расположением атомов. Это явление называется аллотропией. Аллотропические превращения железа наблюдаются при изменении температуры. Железо из расплавленной массы кристаллизуется в форме решетки объемно центрированного куба (рис. 9.1, 1) — δ -модификация железа; при охлаждении до температуры 1390°C она перекристаллизовывается в решетку гранецентрированного куба (рис. 9.1, 2) — γ -модификация железа, а при 898°C снова образует решетку объемно центрированного куба β - и α -модификации. Аллотропия железа имеет большое значение в процессах горячей механической и термической обработки чугуна и стали. Главную роль при этом играют α и γ -модификации железа. Регулируя закалкой, отжигом и другими способами содержание этих модификаций в сталях, придают им заданные механические свойства.

При затвердевании расплава металла вначале образуются мельчайшие кристаллы правильной формы, затем, по мере охлаждения, они увеличиваются в размерах и сростаются между собой в виде деформированных неправильной внешней формы кристаллов, называемых кристаллитами. Их хорошо видно под микроскопом.

Физические свойства металлов и сплавов характеризуются цветом, плотностью, температурой плавления, теплопроводностью, коэффициентом температурного расширения.

Плотность большинства металлов превышает 7000 кг/м^3 , а плотность легких металлов (алюминия, бериллия, магния) менее 3000 кг/м^3 . Чем меньше плотность металла, тем легче и эффективнее оказываются строительные конструкции из него. Вот почему конструкции из сплавов на основе алюминия все шире применяются в строительстве.

Температуру плавления металлов важно знать для выбора режима горячей обработки металлов и получения изделий литьем. Температура плавления металла изменяется при добавке к нему других веществ. Большинство сплавов, например на

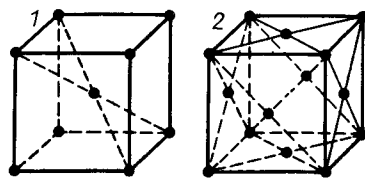


Рис. 9.1. Кристаллические решетки черных металлов:

1 — кубическая объемно-центрированная;
2 — кубическая гранецентрированная

основе железа, имеют температуру плавления ниже, чем входящие в их состав металлы. Однако некоторые сплавы цветных металлов, например никеля и алюминия, имеют более высокую температуру плавления, чем чистый никель и алюминий. Изменение температуры плавления металла от содержания в нем других веществ характеризуется диаграммой состояния.

Расширение металлов при нагревании характеризуется коэффициентом линейного и объемного расширения. Это свойство металла необходимо учитывать при проектировании металлических строительных конструкций, так как последние под действием изменяющейся температуры могут вызвать разрушение сооружения. Важно учитывать это свойство металла при сварке, так как в результате местного нагрева свариваемых деталей может произойти образование трещин. Способность металла удлиняться при нагревании эффективно используется при производстве предварительно напряженных железобетонных изделий способом электротермического натяжения арматуры.

Механические свойства металлов характеризуются их прочностью, твердостью, ударной вязкостью, усталостью и ползучестью.

Прочность — это способность металла или сплава сопротивляться действию внешних сил. В зависимости от характера этих сил различают прочность при растяжении, сжатии, изгибе, кручении. Характеризуются они соответствующим пределом прочности, т. е. условным напряжением, при котором испытуемый образец металла разрушается. Универсально испытание на растяжение, применяемое для всех металлов и сплавов. Специфическим, например, для серого чугуна, является испытание при сжатии и изгибе.

При испытании металлов при растяжении определяют предел текучести — напряжение, при котором растяжение образца происходит без увеличения растягивающей нагрузки. Этот показатель служит основным при расчете металлических конструкций.

На усталость, или выносливость, испытывают образцы из стали и цветных тяжелых и легких сплавов, детали из которых работают в условиях повторно-переменных растягивающих, изгибающих, сжимающих, крутящих и других нагрузок.

На ползучесть, т. е. способность деформироваться под постоянной нагрузкой, испытывают металлы, непрерывно работающие под напряжением. В результате ползучести могут увеличиваться прогибы строительных конструкций, произойти потеря устойчивости. Особенно опасна ползучесть арматурной стали в предварительно напряженных железобетонных конструкциях. Как результат ее, могут произойти потеря предварительного напряжения арматуры, образование трещин в бетоне и разрушение конструкции.

Твердость металла определяет противодействие его при вдавливании в него твердого стального шарика (метод Бринелля), алмазного корпуса или алмазной пирамиды.

Вязкость различают статическую и ударную (динамическую). Статическая вязкость характеризуется относительным удлинением (в процентах длины образца при разрыве) к его первоначальной длине, а ударная вязкость — количеством работы, потребной для разрушения образца ударной нагрузкой.

Технологические свойства характеризуют способность металла подвергаться обработке. К ним относятся: пластичность, позволяющая получать металлические изделия ковкой, прокаткой, волочением; обрабатываемость резанием; свариваемость, характеризующая способность металла давать прочные соединения путем их местного нагрева до пластичного или жидкого состояния.

§ 9.2. Черные металлы и стали

Продуктами доменного производства являются чугун, доменный шлак, колошниковый газ и колошниковая пыль.

● **Чугун**, выплавляемый в доменных печах, по своему назначению делят на три группы: *литейный, переплавный и ферросплавы*. Из всей выплавки более 80% составляет переплавный чугун. Это преимущественно белый чугун, в котором весь углерод содержится в химически связанном состоянии в виде Fe_3C . Переплавный чугун применяют для производства стали. Около 20% приходится на долю литейных чугунов и ферросплавов. Литейный серый чугун используют для получения фасонных отливок. Ферросплавы, содержащие повышенное количество кремния и марганца, применяют в качестве добавки при производстве стали повышенного качества.

В строительстве применяют главным образом серый чугун для изготовления деталей, работающих при сжатии (башмаков, колонн), а также санитарно-технических (отопительных радиаторов, труб) и архитектурно-художественных изделий. Значительное количество чугуна расходуется для изготовления туннелей, из которых сооружается туннель метрополитена. Некоторые виды чугунных строительных изделий показаны на рис. 9.2.

Серые чугуны обладают хорошими литейными качествами — жидкотекучестью, мягкостью, хорошо обрабатываются, сопротивляются износу. Установлены следующие марки отливок из серого чугуна: СЧ 00; СЧ 120-280; СЧ 150-320; СЧ 180-360; СЧ 210-400; СЧ 240-440; СЧ 280-480; СЧ 320-520; СЧ 360-560; СЧ 400-600 и СЧ 440-640. СЧ обозначает серый чугун. Первое число показывает предел прочности (МПа) при испытании на разрыв, а второе — на изгиб. Серый чугун марки СЧ 00 не испытывается.

● **Стали** по химическому составу делят на *углеродистые и легированные*. Углеродистые стали, в свою очередь, бывают обыкновенного качества, качественные конструкционные (для машиностроения и наиболее ответственных конструкций) и инструментальные (для изготовления режущих инструментов, штампов, матриц). Легированные стали выпускают конструк-

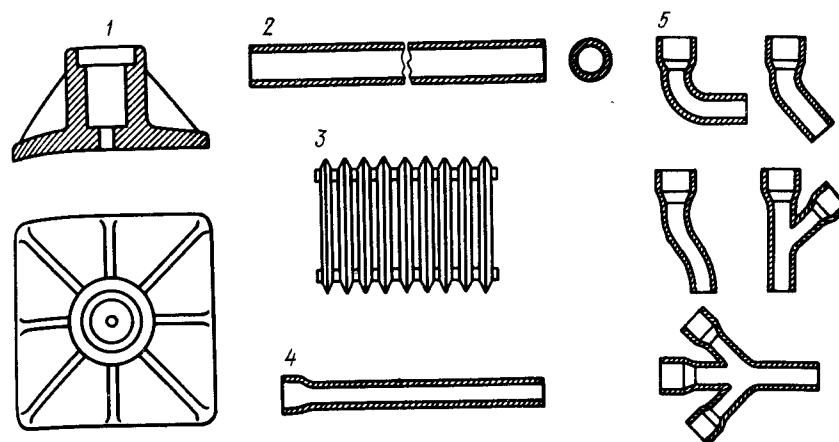


Рис. 9.2. Чугунные строительные изделия:

1 — опорные подушки колонн; 2 — колонны; 3 — отопительные радиаторы; 4 — трубы; 5 — фасонные части к трубам

ционные, инструментальные и специального назначения, отличающиеся некоторыми специфическими свойствами.

Стали, применяемые для строительных целей, различаются по качеству, назначению и способу выплавки (мартеновская или конвертерная).

По качеству и назначению сталь бывает: углеродистая обыкновенного качества; углеродистая горячекатаная для мостостроения; углеродистая толстолистовая и широкополосная, термически обработанная; углеродистая качественная конструкционная для железнодорожных и крановых рельсов; низколегированная конструкционная.

В зависимости от способа обработки строительные стали делят на три группы: I — горячего проката (рис. 9.3), II — холодной вытяжки (выпускается в виде высокопрочной холодно-тянутой проволоки круглого и периодического профиля, а также в виде холодно-тянутой проволоки обыкновенного качества); III — комбинированной обработки — гнутые профили.

Сталь углеродистая обыкновенного качества находит основное применение в строительстве. Она представляет собой сплав железа с углеродом. В ней присутствуют кроме углерода (0,06...0,62%) примеси кремния, марганца. Наиболее нежелательно присутствие фосфора, который вызывает хрупкость стали при низких температурах (хладноломкость), и серы при высоких температурах.

В зависимости от назначения и гарантируемых механических характеристик сталь углеродистую обыкновенного качества делят на две группы и одну подгруппу: группа А — поставляемая по механическим свойствам; группа Б — поставляемая по химическому составу; подгруппа В — поставляемая по механическим

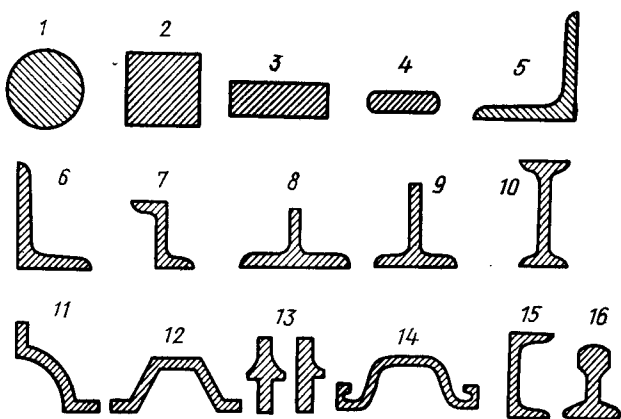


Рис. 9.3. Основной сортament прокатных стальных профилей:
сталь: 1 — круглая; 2 — квадратная; 3 — полосовая; 4 — шинная;
уголки: 5 — равнобокий; 6 — неравнобокий;
профили: 7 — зетовый; 8, 9 — тавровый; 10 — двутавровый; 11 — колонный; 12 — коры-
тый; 13 — оконный; 14 — шпунтовый; 15 — швеллер; 16 — рельс

свойствам с дополнительными требованиями по химическому составу. Для строительных целей используют в основном сталь группы А.

Углеродистые стали обыкновенного качества применяют без термообработки. Углеродистую сталь обыкновенного качества группы А производят следующих марок: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6 и Ст7. С увеличением содержания углерода марка стали повышается, растут прочность и твердость, снижаются пластичность и ударная вязкость.

Сталь группы Б изготавливается тех же марок, что и сталь группы А, но перед маркой стали ставят букву Б (БСт0, БСт1). Сталь группы В изготавливают марок ВСт2, ВСт3, ВСт4 и ВСт5.

В легированных сталях в качестве легирующих веществ применяют кремний — С, хром — Х, никель — Н, молибден — М, марганец — Г, вольфрам — В, алюминий — А, медь — Д, кобальт — К. Обозначение марки легированной стали, например 25ХГ2С, используемой для арматуры предварительно напряженных железобетонных конструкций, показывает, что в ней содержится 0,25% углерода, 1% хрома, 2% марганца и 1% кремния. Таким образом, первые две цифры в обозначении марки стали показывают содержание углерода в сотых долях процента, а остальные цифры — содержание легирующего элемента, стоящего перед цифрой в целых процентах. При маркировке высококачественной легированной стали (с низким содержанием серы и фосфора) в конце ставится буква А. Например, 30ХМА — легированная хромомолибденовая сталь высокого качества.

Механические свойства некоторых легированных конструкционных сталей приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1. Механические свойства легированной конструкционной стали

Группа стали	Марка стали	Предел прочности, МПа, не менее	Предел текучести, МПа, не менее	Относительное удлинение, %, не менее
Хромистая	15Х	700	500	10
	40Х	1000	800	9
Хромокремнистая	33ХС	850	650	13
	30ХГСА	1100	850	10
	35ХГСА	1650	1300	9
Хромокремнемарганцевая	12ХН3	350	110	—
	12Х2Н4	1100	100	—

Высоколегированные стали подразделяются на три группы: нержавеющие и кислотостойкие, окалиностойкие и жаропрочные и сплавы с высоким электросопротивлением.

В строительстве широко используют низкоуглеродистые и низколегированные стали. Их применяют для изготовления металлических конструкций мостов, опор, транспортных галерей, подкрановых балок, мостовых кранов, арматуры железобетонных конструкций и др. Строительные стали применяют в горячекатаном состоянии и после термической обработки. Стали поставляют в виде прутков, профилей, листов и широких полос.

Кроме того, применяют следующие изделия из стали: заклепки, болты, гайки, шайбы, винты, гвозди, поковки, а также стальные канаты. Заклепки используют для неразборного соединения металлических конструкций, а болты и гайки — для разъёмных соединений, для крепления деревянной обшивки к металлическому каркасу и т. д. Болты выпускают с шестигранной головкой нормальной и повышенной точности. Болты повышенной точности отличаются более точными размерами и обработанной поверхностью стержней. Они применяются редко. Поковки строительные изготавливают в виде скоб, применяемых при скреплении деревянных конструкций, для предотвращения их сдвига; штырей — для наращивания досок или брусев; крючьев — для крепления настенных желобов и водосточных труб. Канаты стальные применяют для такелажных и монтажных работ, а также для крепления подвесных ферм, висячих мостов, для оттяжек мачт и вантовых конструкций. Стальные канаты изготавливают из проволоки марки В (высшая). Проволоку применяют светлую или оцинкованную с пределом прочности при растяжении 1100...2000 МПа. Канаты изготавливают однопрядные или многопрядные с крестовой или односторонней свивкой, с органическим или металлическим сердечником.

§ 9.3. Термическая обработка стали

● Термическая обработка придает стальным изделиям определенные механические свойства: высокую твердость, повысив этим сопротивление износу, меньшую хрупкость для улучшения обработки или повышения ударной вязкости и т. д. Это достигается нагревом и последующим охлаждением стали по строго определенному температурному режиму. В результате в нужном направлении изменяется структура стали, которая и определяет ее механические свойства.

Различают следующие виды термической обработки стали: закалку, отпуск, отжиг и нормализацию, а также обработку холодом и химико-термическую обработку.

Закалка — термическая обработка стали путем ее нагрева до определенной температуры, некоторой выдержки при этой температуре до завершения фазовых превращений с быстрым последующим охлаждением в воде, масле и других жидкостях. При закалке увеличиваются твердость и прочность, но снижается ударная вязкость. Закаленная сталь обладает большой хрупкостью, что делает ее малоприменимой для практического использования.

Отпуску подвергают сталь после закалки для уменьшения хрупкости и ослабления внутренних напряжений. Отпуск стали заключается в нагреве ее ниже температуры закалки с последующим постепенным охлаждением на воздухе. В зависимости от вида отпуска изделие нагревают от 150 до 550°C. С повышением температуры отпуска сильно изменяются механические свойства закаленной стали: предел прочности и твердость понижаются, а относительное удлинение и вязкость возрастают.

Отжиг уменьшает структурную неоднородность стали, придает мелкозернистую структуру, снижает напряжение, возникшее при обработке давлением (ковке, волочении) или литьем, а также улучшает обрабатываемость стали резанием.

Нормализация — это, по существу, процесс отжига. Стальное изделие нагревают до температуры несколько ниже температуры закалки, выдерживают сталь при этой температуре, а затем охлаждают на воздухе. В результате сталь получается более мелкозернистой, чем при отжиге, повышаются ее твердость, прочность, ударная вязкость по сравнению с отожженной сталью.

Обработка холодом способствует более равномерной структуре и повышает твердость стали. Закаленная сталь с содержанием углерода более 0,6% состоит из мартенсита с распределенным в нем остаточным аустенитом, не успевшим перейти в мартенсит при закалке. В результате структура стали оказывается недостаточно равномерной и несколько пониженной твердости, чем если бы она состояла только из мартенсита. Если же такую сталь подвергнуть после закалки обработке холодом, процесс превращения аустенита в мартенсит продолжается.

В качестве охлаждающих сред, температура которых может достигать — 200°C и ниже, используют жидкий азот, аммиак, кислород и др.

Химико-термическая обработка стали заключается в изменении химического состава поверхностного слоя стального изделия путем насыщения его каким-либо другим веществом (углеродом, азотом, цианом, хромом) с целью повышения твердости, износостойкости или коррозионной стойкости поверхности и сохранения при этом высоких механических качеств самого изделия. Видами химико-термической обработки стали являются цементация, азотирование, цианирование и хромирование.

Цементацию стали осуществляют насыщением углеродом поверхностного слоя стального изделия при температуре среды 880...950°C, содержащей углерод.

Азотирование — насыщение азотом поверхностного слоя стального изделия при нагревании до 500...700°C в атмосфере аммиака NH_3 , при этом повышаются коррозионная стойкость, твердость, износостойкость и предел усталости стали. Азотированию подвергают легированные стали, содержащие в качестве легирующего вещества алюминий и прошедшие предварительную термическую и механическую обработку, кроме окончательного шлифования. Глубина азотированного слоя 0,01...1,0 мм.

Хромирование — насыщение поверхностного слоя хромом. Повышение коррозионной стойкости стали при действии пресной и морской воды, азотной кислоты, окислительной среды при высокой температуре (окалиностойкость) достигается хромированием. Твердость хромированного слоя низколегированной стали составляет HB 250...300, а высокоуглеродистой — HB 1200...1300.

§ 9.4. Производство металлических изделий и конструкций

При изготовлении металлических изделий расплавленный чугун или сталь разливают по специальным формам, называемым изложницами, а затем слитки металла от 500 кг до нескольких (иногда десятков) тонн подвергают дальнейшей обработке давлением или литьем, в результате которой получают изделия требуемых форм, размеров и свойств. Затем изделия соединяют в конструкцию с помощью сварки, клепки или болтов. Обработка давлением основана на высоких пластичных свойствах металла. На практике применяют следующие способы обработки металлов давлением: прокат, ковку, волочение, штамповку и пресование.

● **Прокат** — наиболее распространенный и дешевый способ производства металлических изделий. Сущность проката заключается в обжатии металла между вращающимися валками, при этом заготовка уменьшается в сечении, вытягивается и приоб-

ретаает форму, соответствующую валкам, если последние не-
гладкие. Прокатывают металл в холодном и горячем состоянии.
Холодный прокат применяют для металлов, обладающих высо-
кой пластичностью (свинец, олово), или для получения тончай-
ших стальных листов (по причине их быстрого остывания).
Однако подавляющее большинство стальных изделий прокаты-
вают в горячем состоянии при температуре 900...1250°С. Обжа-
тие стального слитка до требуемой формы и размера произво-
дят за несколько последовательных приемов путем пропуска
его через ряд валков с уменьшающимся зазором. Способом про-
катки получают большинство стальных строительных изде-
лий: балки, рельсы, листовую и прутковую сталь, арматуру,
трубы.

● **Ковка** — процесс деформации металла под действием повто-
ряющихся ударов молота или пресса. Ковка может быть свобод-
ная, когда металл при ударе молота имеет возможность сво-
бодно растекаться во все стороны, и штампованная, когда
металл, растекаясь под ударами молота, заполняет формы
штампов, а избыток его вытекает в специальную канавку и
отрезается. Штамповка позволяет получить изделия очень точ-
ных размеров. В условиях строительства пользуются преимуще-
ственно свободной ковкой для изготовления различных деталей
(болтов, скоб, анкеров), для пробивки отверстий, рубки и резки
металла. Клепка также относится к операциямковки. В настоя-
щее время ковку производят посредством механических мо-
лотов.

● **Волочение** заключается в протягивании металлической заго-
товки через отверстие, сечение которого меньше сечения заго-
товки. В результате этого металл обжимается, а профиль его
строго соответствует форме отверстия. В качестве заготовки
используют предварительно прокатанный или прессованный пру-
ток или трубу. Волочение металла производят обычно в холод-
ном состоянии, при этом получают изделия точных профилей
с чистой и гладкой поверхностью. Способом волочения изготов-
ляют тонкостенные изделия (трубки), а также круглые, квад-
ратные, шестиугольные прутки небольшой площади сечения
(до 10 мм²).

При волочении в металле появляется так называемый на-
клеп — упрочнение металла в результате пластической деforma-
ции. Наклеп повышает твердость стали, но снижает пластич-
ность и вязкость. Явление наклепа вызывает старение стали —
структурные изменения, повышающие ее хрупкость. Старение
стали особенно опасно в конструкциях, подвергающихся удар-
ной нагрузке (в железнодорожных мостах, рельсах, подкрано-
вых балках). Однако явление наклепа широко используют на
практике при механическом упрочнении арматурной стали для
повышения предела текучести.

● **Холодное профилирование металла** — процесс деформирова-
ния листовой или круглой стали на прокатных станах. Из лист-

товой стали получают гнутые профили с различной configura-
цией в поперечнике, они экономичнее профилей горячей прокатки
за счет сокращения толщины профиля до 2 мм.

§ 9.5. Стальная арматура для железобетона

● **Под арматурой железобетона** понимают стальные элементы
или целые каркасы, которые размещены в массе бетона. Арма-
туру располагают главным образом в тех местах конструкции,
которые подвергаются растягивающим усилиям (при изгибе,
растяжении, внецентренном сжатии). Арматура является важ-
нейшей составной частью железобетона; она должна надежно
работать совместно с бетоном на всех стадиях службы изделия.
С целью более рационального использования в качестве арма-
туры для железобетона применяют высокопрочные низколегиро-
ванные стали или арматурную сталь подвергают механиче-
скому упрочнению или термической обработке.

● **Механическое упрочнение стали** осуществляют путем волоче-
ния, скручивания. При волочении стержень проходит через кони-
ческое отверстие и обжимается. Вытяжку арматуры производят
усилиями, превышающими предел текучести стали, при этом ар-
матура несколько вытягивается. Способ упрочнения армату-
ры путем скручивания ее в холодном состоянии вокруг про-
дольной оси оказывается лучшим как в техническом, так и в
экономическом отношении по сравнению с другими способами
упрочнения арматуры. Механическое упрочнение изменяет струк-
туру металла и способствует повышению предела текучести
стали. Предел текучести стали после упрочнения повышается
почти на 30 %, на столько же можно увеличить напряжение в
арматуре железобетона или сэкономить металл, применив стерж-
ни меньшего сечения.

● **Методом термической обработки:** закалкой токами высокой
частоты, изотермической закалкой, закалкой после нагрева
электротоком и последующим отпуском и закалкой после на-
грева в печи с отпуском — также повышают качество арматур-
ной стали. В результате прочность увеличивается от 30 % для
стали 35ХГ2С до 60...100 % для стали Ст5, 25Г2С и 35ГС, а пре-
дел текучести — соответственно от 65 до 130...150 %. Улучшение
механических свойств термически обработанной стали дает эко-
номию арматуры в железобетоне до 35...40 %.

Арматурную сталь (рис. 9.4) классифицируют по способу
изготовления, профилю стержней и применению. По способу
изготовления арматурная сталь бывает стержневой и холодно-
катаной проволочной и предназначена для армирования обы-
чных ненапряженных конструкций и напрягаемой арматуры для
напряженных конструкций. В зависимости от профиля стержней
арматуру делят на гладкую и периодического профиля.

Стержневая арматура бывает горячекатаной, термически
упрочненной и упрочненной вытяжкой — подвергнутой после

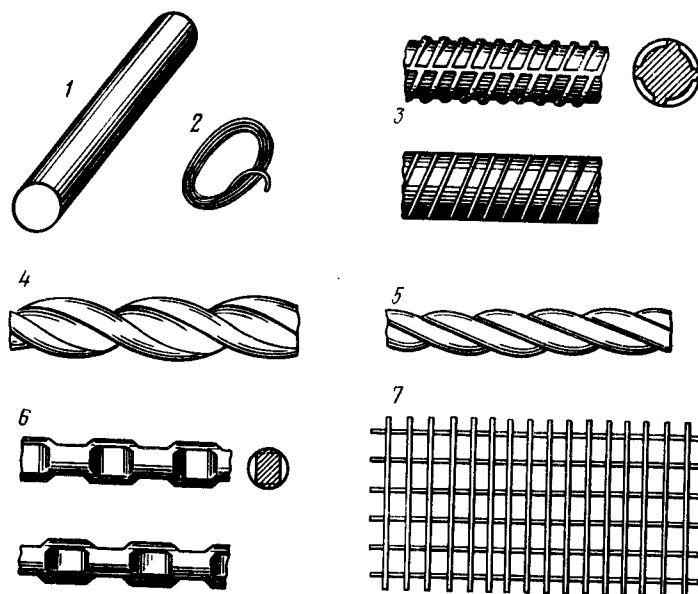


Рис. 9.4. Виды арматуры:

1 — гладкая стержневая; 2 — гладкая проволочная; 3 — горячекатаная периодического профиля; 4, 5 — пряди из проволоки; 6 — холодносплюснутая; 7 — сварная сетка

прокатки упрочнению вытяжкой в холодном состоянии. В зависимости от механических свойств стержневую арматуру делят на классы (табл. 9.2). При обозначении класса термически упрочненной арматурной стали к индексу «А» добавляют индекс «т».

Таблица 9.2. Характеристика стержневой арматурной стали

Класс арматурной стали	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение после разрыва, %	Диаметр стержней, мм
A-II	235	375	25	6...40
A-II	295	490	19	8...80
Ac-II	295	440	25	10...32
A-III	390	590	14	6...40
At-IIIc	440	590	14...15	10...40
A-IV	590	885	8	10...32
At-IV	590	785	9...10	10...28
At-IVC	590	835	9...10	10...28
At-IVK	590	785	9...10	10...28
A-V	785	1030	7	10...32
At-V	785	980	7...8	10...28
At-VK	785	980	7...8	10...28
A-VI	980	1225	6...7	10...22
At-VI	980	1180...1230	6...7	10...28
At-VIK	980	1180...1230	6...7	10...28
At-VII	1180	1370...1420	5...6	10...28

стали для конструкций, используемых в районах Севера, — «с», например Ат-IIIc.

Сталь с повышенной стойкостью против коррозии под напряжением A-IVK, A-VIK. Для каждого класса стержневой арматуры установлены определенные диаметры стержней. Стержни арматурной стали класса A-I выпускают гладкие, а остальных классов — периодического профиля.

Проволочную арматуру делят на арматурную проволоку и арматурные проволочные изделия. Арматурную проволоку различают двух классов; холоднотянутую класса B-I (низкоуглеродистую), предназначенную для ненапрягаемой арматуры, и класса B-II (углеродистую), предназначенную для напрягаемой арматуры (высокопрочная арматурная проволока), а также Bp-I и Bp-II (буква «р» обозначает наличие периодического профиля). Арматурные проволочные изделия бывают: а) нераскручивающиеся стальные арматурные пряди класса П (3, 7 и 19-проволочные), предназначенные для напрягаемой арматуры; количество проволок в прядях обозначается соответствующей цифрой, например П-7 (7-проволочная арматурная прядь); б) стальные арматурные канаты двух- и многопрядные класса К, предназначенные для напрягаемой арматуры; для обозначения типа арматурного каната к индексу К добавляют две цифры: первая из них соответствует количеству прядей, а вторая — количеству проволок в прядях, например K219 — двухпрядный арматурный канат, каждая прядь которого состоит из 19 проволок; в) сварные арматурные сетки для ненапрягаемой арматуры; г) тканые или сварные проволочные сетки для армирования армоцементных конструкций.

Проволочную арматуру выпускают диаметром 3...8 мм с пределом прочности от 1400 МПа (для диаметра 8 мм) до 1900 МПа (для диаметра 3 мм), с пределом текучести соответственно 1120, 1520 МПа.

В настоящее время при изготовлении железобетонных конструкций в качестве ненапрягаемой арматуры предпочтение отдают стержневой арматурной стали классов A-III и A-IVc, а также арматурной проволоке Bp-I.

К эффективным видам напрягаемой арматуры относят стержневую арматурную сталь классов A-V, A-VI, At-V и At-VI, высокопрочную проволоку и получаемые из нее канаты.

Закладные детали предназначены для соединения посредством сварки отдельных изделий между собой при возведении сборных железобетонных конструкций. Они представляют собой стальную пластину из стали Ст3 с приваренными к ней внахлестку анкерами, изготовленными из стали Ст5 периодического профиля. Пластины располагаются на поверхности железобетонного изделия, а анкера — в теле бетона. В ряде случаев для обеспечения более прочной связи анкера соединяются с арматурой изделия.

Применяют несколько типов закладных деталей, причем для

каждого установлена несущая способность. Монтажные петли, закладываемые в бетон, изготавливают из гладкой круглой стали класса А-I. Диаметр стержня определяют расчетом петли на разрыв и выдергивание из бетона.

§ 9.6. Сварка металлов

Существуют два вида сварки: пластическая и сварка плавлением.

● К пластической сварке относятся: электрическая сварка сопротивлением, основанная на превращении электрической энергии в тепловую при прохождении тока через свариваемые детали; с ручной или машинной поковкой; термитная сварка, при которой используется тепло горения термита, доводящая до пластического тестообразного состояния кромки свариваемых деталей.

● К сварке плавлением относятся: газовая, при которой кромки металла расплавляются теплом, получаемым при горении газа; электродуговая, основанная на использовании тепла электрической дуги для расплавления кромок свариваемых деталей; газодуговая, основанная на использовании тепла электрической дуги в среде защитного газа.

Для соединения стальных строительных конструкций в основном применяют электрическую сварку сопротивлением или электродуговую сварку, реже — газовую и термитную. Арматуру железобетонных конструкций сваривают преимущественно с помощью контактной электросварки (точечной и стыковой). При сваривании пространственных каркасов значительных размеров или при соединении стержней большого диаметра применяют электродуговую и газовую сварку.

Газовая сварка (рис. 9.5) заключается в расплавлении металла в месте стыка деталей теплом, получаемым при горении газа или жидкого топлива в смеси с кислородом. Газовую сварку применяют для соединения тонкостенных конструкций из углеродистых и легированных сталей, цветных металлов и чугуна. В строительстве она имеет ограниченное применение из-за высокой стоимости по сравнению с электросваркой. В качестве горючих газов при газовой сварке используют ацетилен, водород, природный газ, а в качестве жидкого топлива — бензин, керосин, бензол. Наиболее дешевой и в то же время обеспечивающей высокое качество сварного шва является ацетиленокислородная сварка.

Для заполнения шва между свариваемыми деталями применяют присадочный металл в виде проволоки, имеющий химический состав, близкий по составу свариваемому металлу. Присадочную проволоку выпускают диаметром 1...12 мм. Диаметр проволоки подбирается в зависимости от толщины свариваемых деталей. В среднем диаметр проволоки должен быть равен половине толщины детали. Для улучшения качества

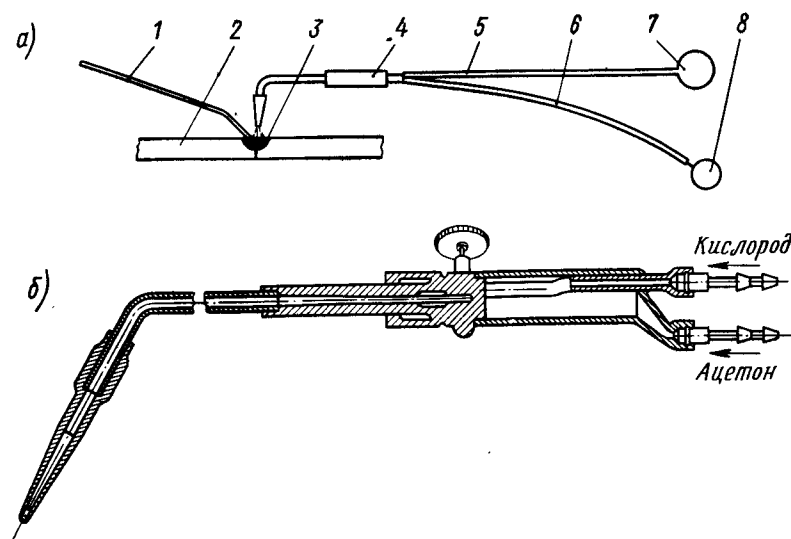


Рис. 9.5. Схема газовой сварки металла (а) и сварочная горелка (б):
1 — присадочный материал; 2 — свариваемый металл; 3 — наплавленный металл; 4 — корпус горелки; 5, 6 — шланги ацетилена и кислорода; 7 — ацетиленовый генератор; 8 — баллон с кислородом

сварного шва производят сварку под флюсом, который вводят в сварочную ванну. Флюсы образуют на поверхности расплавленного металла шлаковую пленку, защищающую расплав от окисления (образования окислов).

Электрическую сварку производят за счет тепла, выделяемого электрическим током. Электрическую сварку делят на сварку сопротивлением, или контактную, и электродуговую.

Контактная электросварка — это процесс соединения металлических деталей в результате местного сплавления их кромок теплом, образующимся при прохождении тока через свариваемые детали. При этом детали сильно прижимают друг к другу, отчего данный способ сварки называют еще электромеханическим. Он в основном находит применение при изготовлении арматурных сеток, каркасов и стыковании стальных стержней. Различают следующие виды контактной сварки: стыковую, точечную и роликовую. Последняя применяется для получения плотного соединения листовых деталей. Для соединения стержней арматуры железобетона применяют стыковую и точечную сварку.

Стыковую сварку используют для продольного соединения деталей арматуры: наращивания стержней, приварки к торцу их анкеров при изготовлении арматуры предварительно напряженных конструкций или закладных деталей.

Точечную сварку (рис. 9.6) применяют для соединения деталей внахлестку или в месте их пересечения. Последнее характерно при изготовлении сеток и каркасов арматуры железобетона.

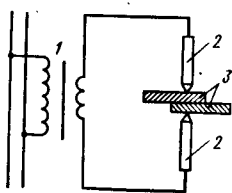


Рис. 9.6. Схема точечной сварки:

1 — трансформатор; 2 — электроды; 3 — свариваемый металл

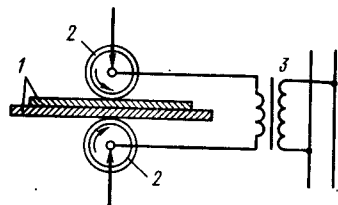


Рис. 9.7. Схема роликовой сварки:

1 — свариваемые листы; 2 — роликовые электроды; 3 — трансформатор

бетона. При точечной сварке пересекающиеся стержни зажимают двумя электродами и включают электрический ток. Так как электроды обладают более высокой электропроводностью, наибольшее сопротивление прохождению тока окажет место пересечения стержней, в результате чего произойдет разогрев металла деталей и сварка их. Благодаря применению тока большой силы 80...300 А/мм² точечная сварка происходит почти мгновенно в течение доли секунды.

Для соединения листового металла с целью получения не только прочного, но и плотного герметичного соединения применяют *роликовую сварку* (рис. 9.7). От точечной сварки она отличается тем, что стержневые электроды в ней заменены вращающимися роликами, которые захватывают свариваемые листы и создают непрерывный шов. При прохождении тока металл под роликами нагревается и сваривается под давлением роликов. Наибольшая общая толщина свариваемых листов составляет 6 мм. Роликовую сварку применяют для получения прочного и плотного соединения.

При *электродуговой сварке* один провод от источника тока присоединяют к свариваемой детали, а второй — к электроду (металлическому стержню). При замыкании цепи между концом электрода и деталью возникает электрическая дуга, в зоне которой температура достигает 6000°C, в результате чего плавятся кромки деталей и электрод; металл электрода заполняет зазор между деталями и образует после затвердевания сварной шов. Прочность шва зависит от глубины провара.

Электроды применяют угольные (графитовые) или металлические. Угольными электродами сваривают цветные металлы, производят наплавку металла или варят тончайшие стальные листы. Конструкции и арматуру сваривают металлическим электродом — стержнем диаметром 2...12 мм, покрытым специальными обмазками из мела, крахмала, каолина, графита. Связующим веществом для удержания обмазки на электроде обычно служит жидкое стекло. Обмазка повышает устойчивость горения дуги и образует шлаковую защиту шва, предохраняя расплавленный металл от окисления в процессе сварки.

Существует несколько типов электродов, отличающихся качеством металла. Для сварки чугунов применяют электроды **чугунные** диаметром 4...12 мм, а для сварки алюминиевых сплавов — специальную проволоку из алюминия и его сплавов.

Электродугу сварку ведут **ручным и автоматическим** способами.

Несмотря на большую распространенность, **электродуговая сварка** имеет ряд существенных недостатков: низкую скорость сварки за счет большой зоны разогрева металла, что в свою очередь вызывает коробление изделия; пористость шва и выгорание легирующих компонентов из сплавов во время окислительных процессов; затруднение сварки металлов и сплавов с различными физико-механическими свойствами. Для устранения отмеченных недостатков в последнее время все шире получает распространение **электродуговая сварка в газовой среде или под флюсом**.

● К **газодуговой сварке** относятся атомно-водородная и аргонодуговая.

При *атомно-водородной сварке* электрическая дуга возбуждается между двумя вольфрамовыми электродами в среде водорода. Водород стабилизирует электрическую дугу и, заполняя участок свариваемого металла, не дает возможности кислороду и азоту воздуха окислять расплавленную массу сварочного шва. Кроме того, молекулярный водород, проходя через область дуги с высокой температурой, расщепляется на атомы, забирая на это большое количество тепла, а подходя к нагреваемому металлу, где температура много ниже, чем у дуги, атомы водорода соединяются в молекулу, отдавая взятую ранее теплоту непосредственно нагреваемому участку шва. Атомно-водородная сварка обеспечивает получение шва высокого качества; ее применяют при сварке тонкостенных конструкций из легированных и высокоуглеродистых сталей.

При *аргонодуговой сварке* электрическая дуга возбуждается между вольфрамовым электродом и деталью в защитной среде аргона. В качестве присадочного материала берут металл свариваемого изделия. Аргонодуговая сварка обеспечивает получение шва высокого качества и защиту наплавляемого металла от воздуха. Применяют ее для сварки нержавеющих сталей, окалиностойких магниевых и алюминиевых сплавов, а также соединений, обладающих высокой антикоррозионной стойкостью.

● В строительстве широко применяют **газовую резку металлов**, принцип которой заключается в нагревании металла до температуры воспламенения в среде кислорода, сжигании его и выдувании образовавшихся оксидов струей кислорода. Железоуглеродистые сплавы, содержащие до 0,7% углерода, имеют температуру горения ниже температуры плавления и хорошо поддаются резке. С повышением содержания углерода более 0,7% температура горения приближается к температуре плавления и сплавы плохо поддаются резке. Для высоколегированных сталей

и чугунов применяют флюсокислородную резку. Медь и алюминий, температура горения которых выше температуры плавления, резке не поддаются. Газовую резку производят вручную или с помощью машин, полуавтоматов и автоматов.

● **Структура металла** в зоне нагрева при сварке значительно меняется. При сварке углеродистых сталей металл нагревается до температур выше критических, т. е. переходит в аустенитовую структуру, и в процессе последующего охлаждения в зоне термического воздействия металл перекристаллизовывается и образует новую структуру в зависимости от скорости охлаждения. Свариваемость металла при одном и том же виде сварки зависит главным образом от химического состава, свойств свариваемых металлов, применяемых электродов, а также режима сварки и термической обработки до и после сварки. Окисление отдельных элементов (например, углерода) может дать газообразные продукты и вызвать пористость шва.

Содержание углерода влияет на закаляемость стали в зоне термического воздействия сварки. Стали с содержанием углерода до 0,25% свариваются хорошо. Находящиеся в сталях кремний и алюминий могут образовывать при сварке тугоплавкие оксиды, которые в наплавленном металле могут оставаться в виде неметаллических включений и этим снижать качество сварки.

К дефектам свариваемых швов относят непровар, получаемый от неправильного режима сварки; пористость, образовавшуюся от насыщения металла газами, оксидами и шлаками; трещины в наплавленном и основном металле, возникающие от неправильного ведения сварки, а также пережог, получаемый от окисления при слишком большой дуге (при дуговой сварке) и при избытке кислорода (при газовой сварке). Контроль качества сварных соединений производят путем внешнего осмотра, механическими испытаниями, а также при просвечивании рентгеновскими лучами и с помощью ультразвука, скорость прохождения которого зависит от плотности шва: чем он плотнее, тем быстрее проходит ультразвук.

§ 9.7 Цветные металлы и их сплавы

Для получения строительных изделий высоких технических свойств все шире стали применять металлические сплавы цветных металлов. Цветные сплавы на основе меди и благородных металлов — золота и серебра — в своем прошлом находили довольно широкое применение в отделочной технике. Использование же их в технических целях ограничивалось стоимостью.

За последние годы в строительстве широко применяют новые металлические материалы — алюминиевые, титановые и магниевые сплавы, высокопрочные стали с пределом прочности до 3000 МПа. Применяемые в строительстве алюминиевые сплавы, приближаясь по прочности к основным маркам строительных

сталей, имеют небольшую плотность (2,7; 2,9 т/м³) и высокую стойкость против коррозии.

● **Алюминиевые сплавы** широко используют для изготовления проката в виде профилей: уголков, швеллеров, двутавров, труб круглого и прямоугольного сечений. Большое количество алюминиевых сплавов расходуется на изготовление заклепок, болтов. Изделия из алюминиевых сплавов отличаются простотой технологии изготовления, хорошим внешним видом, сейсмостойкостью, хладостойкостью, огнестойкостью, антимагнитностью и долговечностью, что позволяет им успешно конкурировать со сталью и другими строительными материалами.

Алюминий в «чистом» виде обладает многими высокими техническими свойствами: хорошей сопротивляемостью коррозионным воздействиям среды, высокой электропроводностью, пластичен, что позволяет легко изготавливать из него детали самого разнообразного и весьма сложного профиля. Недостатком алюминия является незначительная прочность — всего 70...100 МПа, что не позволяет его использовать для несущих строительных конструкций. Однако алюминий резко повышает свои механические показатели при добавке к нему других металлов — меди, марганца, магния (табл. 9.3).

Таблица 9.3. Механические свойства алюминиевых сплавов, применяемых в строительных конструкциях

Наименование сплава	Марка сплава	Условный предел текучести, МПа, не менее	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %
Алюминиево-марганцевый	АМц-М	60	100...170	16...22
	АМц-П	120	150...170	16...22
Алюминиево-магниевый с содержанием магния 2...2,8%	АМг-М	80	160...230	10...18
		170	240...240	
Алюминиево-магниевый с содержанием магния 5,8...6,8%	АМгб-М	160	320	15
Авиль (сплав повышенной пластичности)	АВ-Т	230	180...200	14...20
Дюралюмин нормальной прочности	Д1-Т	8...12 190...250	270...310 360...410	10...15
Дюралюмин конструктивный теплопрочный (повышенной прочности)	Д16-Т	260...360 270...340	400...490	6...14

В настоящее время расширяется сфера применения алюминиевых конструкций и полуфабрикатов путем создания новых конструктивно-облицовочных материалов с разнообразными защитно-декоративными полимерными, лакокрасочными, эмалевыми и электротехническими покрытиями. Алюминиевые конструкции широко внедряются в гражданское, промышленное и сельскохозяйственное строительство.

В многоэтажных общественных, административных и промышленных зданиях с высотой этажа до 5 м и шагом колонн каркаса 6 м применяют стеновые панели П-1А размером $1880 \times 162 \times 4125$ мм. Каркас панели состоит из двух рам, соединенных болтами через текстолитовые прокладки. Рама заполняется двумя слоями асбестоцементных листов с внутренним утепляющим слоем. На одной стороне наклеен алюминиевый лист (пароизоляция). Наружную декоративную вставку изготовляют из шпунтовых профилей или штампованного листа. Остекление панели производят стеклопакетами. Панель П-1А имеет массу 400 кг.

Для устройства внутренних перегородок, отвечающих повышенным архитектурно-строительным требованиям, применяют предварительно напряженную панель ПП-1 алюминиевых сплавов с декоративным покрытием из павинола (рис. 9.8). В основу конструкции положено использование в качестве обшивок тонких алюминиевых листов толщиной 0,5...0,8 мм, жесткость и устойчивость которых обеспечиваются за счет предварительного натяжения. Панель включает продольно-поперечный каркас из пресованных швеллеров и уголков, соединенных аргонодуговой сваркой, к которому заклепками крепятся натянутые листы. Между листами располагают звукоизолирующий слой минеральной ваты. На лицевую поверхность обшивки наносят декоративное покрытие из павинола или других пленочных материалов самых различных свойств, рисунка и текстуры. Панели производят размером $3500 \times 750 \times 62$ мм, массой 35 кг.

Для покрытий отапливаемых производственных общественных и гражданских зданий применяют панели покрытия с предварительно напряженными обшивками из рулонных алюминиевых листов. Панель (рис. 9.9) состоит из двух ферм, соединенных между собой по верхнему и нижнему поясам поперечинами, по которым располагаются обшивки. Нижний напрягаемый лист включается в работу растянутого пояса и одновременно выполняет функции подвесного потолка, а верхняя обшивка работает совместно с верхним сжатым поясом, являясь одновременно

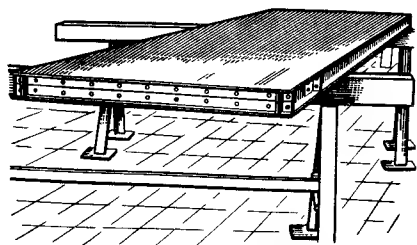


Рис. 9.8. Предварительно напряженная панель ПП-1 из алюминиевых сплавов с декоративным покрытием из павинола для внутренних перегородок

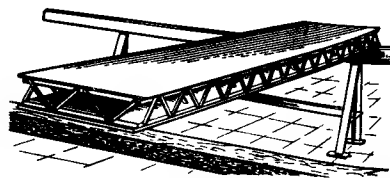


Рис. 9.9. Панель покрытия с предварительно напряженными обшивками из рулонных алюминиевых листов

гидроизолирующим слоем. Предварительное натяжение обшивок позволяет резко увеличить жесткость панели, снизить расход алюминия и повысить надежность конструкции. Панель позволяет перекрывать пролеты до 30 м и более непосредственно «от стены до стены» здания без устройства несущих элементов шатра. Панели выпускают размером $30\,000 \times 3000 \times 1750$ мм, массой 2000 кг, расход алюминиевых сплавов на 1 м^2 панели составляет 12 кг.

● **Сплавы на основе меди.** В чистом виде медь практически не находит применения в строительстве, используют ее в виде латуни и бронзы. Латунь — это сплав меди с цинком (до 40%), а бронза — сплав меди с оловом или каким-либо другим металлом, кроме цинка. Наиболее распространены оловянистые бронзы, содержащие 10...20% олова; применяют также алюминиевые, марганцовистые, свинцовистые и другие виды бронз.

Латуни и бронзы обладают многими очень важными для техники свойствами — достаточно прочны (до 300...600 МПа), могут быть получены высокой твердости (НВ 200...250), обладают хорошими антифрикционными свойствами, благодаря чему они широко используются в подшипниках, имеют высокую коррозионную стойкость. Однако по экономическим причинам сплавы на основе меди в строительстве применяют лишь для изготовления санитарно-технической аппаратуры (кранов, вентилях), в отдельных случаях — для отделочных и декоративных целей. Основное же использование латуни и бронзы находят в машино- и приборостроении.

● **Сплавы на основе олова и свинца с добавкой меди, сурьмы** называют баббитами и широко применяют для подшипников. Баббиты сравнительно дороги, и по этой причине их стремятся заменять другими, более дешевыми антифрикционными материалами: серыми чугунами, сплавами на основе алюминия, металлокерамическими сплавами. Последние получают путем сплавления сильно спрессованных тонкоизмельченных минеральных порошков (графита, кремнезема) с порошком металла (медию, железом, висмутом, молибденом).

● **Цинк и свинец** значительно шире применяют в строительстве. Цинк в основном используют для кровельных покрытий, карнизов и водосточных труб, свинец — для футеровки кислотостойких устройств химических аппаратов, для особых видов гидроизоляции, для зачеканки швов и стыков элементов строительных конструкций, например швов между тубингами в туннелях метрополитена.

● **Магний, титан и их сплавы** благодаря их низкой плотности и высоким механическим свойствам применяют в основном в самолетостроении и для специальных целей. Так, при плотности магниевых сплавов около 2000 кг/м^3 (это самый легкий материал) твердость сплава достигает НВ 60...70, а прочность на разрыв — 250...300 МПа. Магниеые сплавы получают, добавляя к магнию алюминий, марганец, цинк. Титанистые сплавы обла-

дают очень высокой жаростойкостью, твердостью до 350 и прочностью до 1500 МПа. Эти сплавы получают путем добавки к титану хрома, алюминия, ванадия.

§ 9.8. Коррозия металлов и меры защиты от нее

В результате взаимодействия металла с окружающей средой может происходить его разрушение, т. е. коррозия. Различают коррозию химическую и электрохимическую.

● **Химическая коррозия возникает при действии на металл сухих газов и растворов масел, бензина, керосина и др.** Примером химической коррозии металла служит окисление его при высоких температурах; окалина, образующаяся на поверхности металла, является продуктом коррозии.

● **Электрохимическая коррозия возникает при действии на металл растворов кислот и щелочей.** При этом металл отдает свои ионы электролиту, а сам постепенно разрушается.

Коррозия может возникать также при контакте двух разнородных металлов или в результате химической неоднородности. Каждый металл имеет определенные электрические свойства, характеризующиеся рядом напряжений. При контакте двух металлов разрушается тот, который стоит ниже в ряду напряжений. Например, железо в ряду напряжений стоит выше хрома и цинка, но ниже меди и серебра. Следовательно, при контакте железа с хромом или цинком будет разрушаться хром или цинк, а при контакте железа с медью или серебром — железо. Степень разрушения при этом будет зависеть от температуры, вида и концентрации электролита. На сталь вредно действуют кислоты и щелочи, растворяя ее.

Содержащийся в воздухе углекислый или сернистый газ усиливает коррозию, так как при увлажнении на поверхности металла образуются кислоты, вступающие во взаимодействие с металлом.

Коррозия может быть местная, когда разрушение металла происходит на некоторых участках, равномерная, когда металл одинаково разрушается по всей поверхности и межкристаллитная, когда разрушение происходит по границам зерен металла.

● **Защита от коррозии осуществляется несколькими способами, простейшим из которых является покрытие металла различными красками, лаками, эмалями.** Образующаяся при этом пленка изолирует металл от действия внешней среды (газов, влаги). Кроме вышеуказанных существуют более совершенные и эффективные способы защиты от коррозии: легирование — сплавление металла с легирующими веществами, повышающими его коррозионную стойкость; воронение — получение на поверхности изделия защитного слоя, состоящего из оксидов данного металла; металлическое покрытие металла пленкой из другого металла, менее подверженного коррозии в данных условиях (цинком, оловом). Металлические покрытия производят осаж-

дением на поверхности изделия металла из раствора (гальванические покрытия), обрызгиванием или погружением в ванну с другим расплавленным металлом.

§ 9.9. Технико-экономическое обоснование применения металлических конструкций

В отличие от многих строительных материалов, применяемых исключительно в строительстве, металлы используют практически во всех отраслях народного хозяйства. Это выдвигает на первое место вопросы оценки экономической эффективности их первоочередного использования. С развитием сборного железобетона в СССР большая часть конструкций, выполнявшихся ранее из металла, изготавливается из железобетона. Это позволяет добиться экономии металла в строительстве.

Институтом экономики строительства Госстроя СССР с участием ЦНИИпромзданий, НИИЖБа и других выявлены области первоочередного применения стальных конструкций в зданиях и сооружениях в перспективе.

Для определения эффективности каркасов рассматривались здания размером: 144×144 м с подвесными кран-балками грузоподъемностью 3 т, бесфонарные с сеткой колонн 12×18 м, высотой до низа ферм 7,2 м; 144×144 м с кранами 20 т, бесфонарные с сеткой колонн 12×24 м, высотой до низа ферм 12,6 м; 150×144 м с кранами 50 т, бесфонарные, с сеткой колонн 12×30 м, высотой до низа ферм 16,2 м.

При сопоставлении учитывался комплекс конструкций, включающий колонны, фермы, подкрановые балки, фонари, связи, конструкции покрытий (без кровли), крановые рельсы и крепления. В результате анализа выяснилось, что стоимость зданий со стальными каркасами и железобетонными плитами покрытий на 10...12% ниже стоимости зданий с железобетонными каркасами. При этом сроки возведения стальных каркасов в 1,5...2 раза меньше, чем железобетонных, а расход стали выше, чем у железобетонных каркасов, на 30...40% (при применении в стальных каркасах стали марок Ст3 и 15ГС).

Масса конструкций в зданиях с железобетонными каркасами и плитами покрытий больше, чем при применении стальных каркасов и легких ограждающих конструкций. По сумме приведенных затрат стальные конструкции каркасов на 8...10% эффективнее железобетонных.

Сборные железобетонные колонны в большинстве случаев экономичнее стальных как по расходу стали (в 2,5...5,5 раза), так и по стоимости и приведенным затратам (до 30%). Однако в крупных зданиях с покрытиями по стальным фермам при шаге железобетонных колонн 12 м применение последних экономически менее эффективно, чем стальных, так как требует устройства дополнительных поперечных и продольных температурных швов, установки дополнительных колонн, ферм и связей. Расстояние

между температурными швами при железобетонных колоннах не превышает 72...144 м, а при стальных колоннах здания размером до 240×240 м и могут быть без температурных швов.

Применение стальных ферм наиболее эффективно при шаге ферм 6 м и пролете 24...36 м. При шаге ферм 12 м, пролете 18...30 м и нагрузке 4500...5500 Па железобетонные цельные фермы покрытий со скатной кровлей экономичнее стальных по приведенным затратам на 3...11%. Таким образом, степень экономической эффективности ферм всецело зависит от величины пролета и нагрузки.

Весьма целесообразно применение стальных подкрановых балок. При кранах грузоподъемностью 10...30 т и пролетах 6...12 м железобетонные подкрановые балки дороже стальных в 1,2...2,5 раза, а приведенные затраты выше в 1,3...2,8 раза. Стальные опоры и эстакады под трубопроводы в 1,3...2,2 раза дешевле железобетонных. Железобетонные резервуары емкостью 5...10 тыс. м³ целесообразно применять для мазута и агрессивной нефти, а стальные — для малоагрессивной нефти и бензина. Напорные водоводы из стальных труб в настоящее время дешевле, чем железобетонные и чугунные. Стоимость сталежелезобетонных пролетных строений мостов с пролетами более 33 м и на 20...30% ниже, чем сборных железобетонных.

Применение сборных железобетонных опор линий электропередач напряжением 35...330 кВ вместо стальных позволяет в 1,5...2 раза снизить расход стали и на 15...20% приведенные затраты.

В различных конструкциях в зависимости от местных условий, фактора цен и т. д. эффективность взаимозаменяемых материалов проявляется по-разному. Расчеты показывают, что в тех случаях, когда строительство ведется в труднодоступных районах, стальные конструкции оказываются, как правило, эффективнее железобетонных. При наличии сред агрессивных и повышенной влажности во многих случаях более целесообразно использовать железобетон. Экономичность металлических конструкций определяется их конструктивной формой, индустриальностью, степенью совершенствования монтажа зданий и сооружений.

Отечественная и зарубежная практика строительства свидетельствует об экономической целесообразности более широкого использования легких алюминиевых сплавов в различных строительных конструкциях. Интересно, что около 1/5 всего вырабатываемого в мире алюминия сегодня используется для нужд строительства. За последние годы объем применения алюминия и его сплавов в строительстве значительно возрос. Алюминиевые сплавы желательнее использовать в ряде несущих и ограждающих конструкций, для заполнения оконных проемов и устройства витражей, при сооружении мостов, емкостей для хранения различных материалов и продуктов, для отражательной теплоизоляции. Эффективность применения алюминиевых сплавов в строительстве также зависит от района его использования.

● Железобетонные изделия для сборного строительства — относительно новый вид конструктивных элементов. Начало практического применения их относят к концу прошлого столетия. В 20-х и 30-х годах текущего столетия появились первые здания, выполненные в основном из сборных железобетонных изделий и конструкций. Однако широкому и всестороннему применению сборного железобетона в то время препятствовали низкий уровень механизации строительства, отсутствие мощных монтажных кранов и оборудования для производства железобетонных изделий.

Исключительно большую роль в организации массового выпуска сборных железобетонных изделий сыграло постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 19 августа 1954 г. «О развитии производства сборных железобетонных конструкций и деталей для строительства». В нашей стране создана самая крупная в мире индустриальная промышленность сборного железобетона. Если в 1954 г. было выпущено около 2 млн. м³ сборных железобетонных изделий, то в 1985 г. общий выпуск сборного железобетона составил 137 млн. м³. Наряду с увеличением выпуска расширяется номенклатура железобетонных изделий, увеличиваются их размеры. Накоплен некоторый опыт строительства зданий с применением объемных элементов.

Основные факторы, обеспечивающие столь быстрый подъем производства сборного железобетона в Советском Союзе, следующие: 1) максимальная степень заводской готовности, что дает определенный технико-экономический эффект; 2) универсальность свойств железобетонных изделий; путем определенных технологических приемов изготовления и соответствующего выбора материалов железобетонные изделия могут быть получены с различными механическими и физическими свойствами — высокопрочные, водонепроницаемые, жаростойкие, с низкой теплопроводностью и т. д.; 3) долговечность; 4) возможность значительно сократить расход стали в строительстве.

Наряду с достоинствами железобетонные конструкции обладают и недостатками: 1) большая масса; 2) высокая себестоимость изделий; 3) значительные транспортные расходы. Все это снижает общую технико-экономическую эффективность строительства из сборных железобетонных изделий.

Первостепенной задачей производителей и конструкторов является уменьшение массы сборных железобетонных конструкций путем применения материалов высокого качества и более рациональных форм изделий, совершенствование организации технологического процесса, более полная его механизация с широким использованием автоматического управления.

§ 10.1. Общие сведения и классификация железобетона

● Железобетон представляет собой строительный материал, в котором выгодно сочетается совместная работа бетона и стали, крайне отличающихся своими механическими свойствами. Бетон, как и всякий каменный материал, хорошо сопротивляется сжимающим нагрузкам, но он хрупок и слабо противодействует растягивающим напряжениям. Прочность бетона при растяжении примерно в 10...15 раз меньше прочности при сжатии. В результате этого бетон невыгодно использовать для изготовления конструкций, в которых возникают растягивающие напряжения. Сталь же, обладая очень высоким пределом прочности при растяжении, способна воспринимать растягивающие напряжения, возникающие в железобетонном элементе.

Для строительства элементов, подверженных изгибу, целесообразно применять железобетон. При работе таких элементов возникают напряжения двух видов: растягивающие и сжимающие. При этом сталь воспринимает первые напряжения, а бетон — вторые и железобетонный элемент в целом успешно противостоит изгибающим нагрузкам. Таким образом сочетается работа бетона и стали в одном материале — железобетоне.

Возможность совместной работы в железобетоне двух резко различных по своим свойствам материалов определяется следующими важнейшими факторами: прочным сцеплением бетона со стальной арматурой, вследствие этого при возникновении напряжения в железобетонной конструкции оба материала работают совместно; почти одинаковым коэффициентом температурного расширения стали и бетона, чем обеспечивается полная монолитность железобетона; бетон не только не оказывает разрушающего влияния на заключенную в нем сталь, но и предохраняет ее от коррозии.

В зависимости от способа армирования и состояния арматуры различают железобетонные изделия с обычным армированием и предварительно напряженные. Армирование бетона стальными стержнями, сетками или каркасами не предохраняет изделия, работающие на изгиб, от образования трещин в растянутой зоне бетона, так как последний обладает незначительной растяжимостью (1...2 мм на 1 м), тогда как сталь выдерживает без разрушения в 5...6 раз большие растягивающие напряжения, чем бетон. Появление трещин отрицательно влияет на работу железобетонного элемента: увеличиваются прогибы, в трещины проникают влага и газы, отчего создается опасность коррозии стальной арматуры.

Избежать образования трещин в железобетонной конструкции можно предварительным сжатием бетона в местах, подверженных растяжению. В предварительно сжатом бетоне трещины появляются только в том случае, если растягивающие напряжения перерастут напряжения предварительного сжатия. Сжатие бетона достигается предварительным растяжением арматуры.

Различают два вида предварительного напряжения арматуры: до затвердения бетона и после приобретения бетоном определенной прочности. Если напряжение арматуры производится до бетонирования, то уложенная в форму арматура растягивается и в таком состоянии закрепляется в форме. После заполнения формы бетонной смесью и затвердения бетона арматура освобождается от натяжения, сокращается и увлекает за собой окружающий ее бетон, обжимая железобетонный элемент в целом. Если же напряжение арматуры производится после затвердения бетона, то в этом случае арматуру располагают в специально оставленном в бетоне канале. После затвердения бетона арматуру натягивают и закрепляют на концах конструкции анкерными устройствами. Затем заполняют канал раствором, который после затвердения сцепляется с арматурой и с бетоном конструкции, обеспечивая монолитность железобетона.

Предварительное напряжение арматуры не только предупреждает появление трещин в растянутом бетоне, но и позволяет снизить массу железобетонных конструкций, увеличить их жесткость, повысить долговечность и сократить расход арматуры. Поэтому дальнейшее развитие строительной техники направлено на значительное увеличение выпуска тонкостенных предварительно напряженных железобетонных конструкций.

В основу классификации сборных железобетонных изделий положены следующие признаки: вид армирования, плотность, вид бетона, внутреннее строение и назначение.

По виду армирования железобетонные изделия делят на предварительно напряженные и с обычным армированием.

По плотности изделия бывают из тяжелых бетонов, облегченного, легкого и из особо легких (теплоизоляционных) бетонов. Для элементов каркаса зданий применяют тяжелый бетон, а для ограждающих конструкций зданий — легкий.

По виду бетонов и применяемых в бетоне вяжущих различают изделия: из цементных бетонов — тяжелых на обычных плотных заполнителях и легких бетонов на пористых заполнителях: силикатных бетонов автоклавного твердения — плотных (тяжелых) или легких на пористых заполнителях на основе извести или смешанном вяжущем; ячеистых бетонов — на цементе, извести или смешанном вяжущем; специальных бетонов — жаростойких, химически стойких, декоративных, гидратных.

По внутреннему строению изделия могут быть сплошными и пустотелыми, изготовленными из бетона одного вида, однослойные или двухслойные и многослойные, изготовленные из разных видов бетона или с применением различных материалов, например теплоизоляционных.

Железобетонные изделия одного вида могут отличаться также типоразмерами, например стеновой блок угловой, подоконный и т. д. Изделия одного типоразмера могут подразделяться также по классам. В основу деления на классы положено раз-

личное армирование, наличие монтажных отверстий или раз-
чие в закладных деталях.

В зависимости от назначения сборные железобетонные изде-
лия делят на основные группы: для жилых, общественных,
промышленных зданий, для сооружений сельскохозяйственного и
гидротехнического строительства, а также изделий общего назна-
чения.

Железобетонные изделия должны отвечать требованиям дей-
ствующих государственных стандартов, а также требованиям
рабочих чертежей и технических условий на них. Изделия мас-
сового производства должны быть типовыми и унифицирован-
ными для возможности применения их в зданиях и сооружениях
различного назначения. Изделия должны иметь максимальную
степень заводской готовности. Составные или комплексные
изделия поставляют потребителю, как правило, в законченном,
собранном и полностью укомплектованном деталями виде.
Железобетонные изделия с проемами поставляют со вставлен-
ными оконными или дверными блоками, проолифенными или
загрунтованными. Качество поверхности изделия должно быть
таким, чтобы на месте строительства (если это не предусмотре-
но проектом) не требовалось дополнительной их отделки.

§ 10.2 Номенклатура и технико-экономическая оценка железобетонных изделий

В настоящем параграфе приведены некоторые наиболее рас-
пространенные виды железобетонных изделий различного назна-
чения и дана технико-экономическая оценка эффективности их
применения в строительстве.

● **Изделия для жилых и гражданских зданий.** Изделия для
фундаментов и подземных частей зданий выполняют в виде
массивных элементов с плоской нижней поверхностью — подош-
вой (рис. 10.1, а), устанавливаемых на уплотненный грунт или
бетонную подготовку. В верхней части элемента устанавливают
гнездо-стакан для установки нижнего конца колонны. Глубина
стакана составляет 1...1,5 высоты сечения колонны. При больших
нагрузках на основания применяют сборные фундаменты. Они
состоят из плит и блоков, укладываемых при монтаже в 2...
3 яруса.

Фундаменты под колонны выполняют из бетона класса В15,
20 и 25; их армируют сетками и каркасами из стали класса
А-III. Такие фундаменты изготавливают в основном по стендовой
технологии. Ленточные фундаменты под стены производят из
отдельных блоков трапецевидного или прямоугольного сечения
(рис. 10.1, б), массой 0,5...4 т, из тяжелого бетона классов
В10...20. Армируют блоки сетками из стали класса А-III. Изго-
товляют фундаменты в основном по стендовой технологии.

Стены подвалов производят из сплошных блоков или из бло-

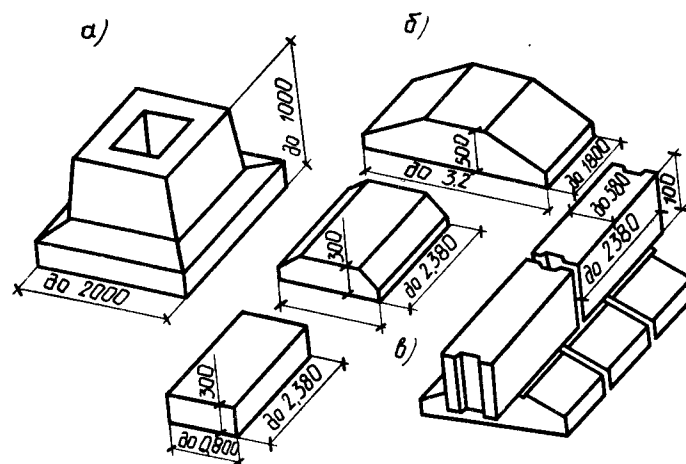


Рис. 10.1. Фундаменты и стены подвалов:

а — фундамент под колонны; б — блоки ленточного фундамента стен; в — блоки стен
подвалов

ков с пустотами из тяжелого бетона классов В7,9...10 массой до
2 т (рис. 10.1, в).

Панели наружных стен изготавливают сплошными или с окон-
ными или дверными проемами (рис. 10.2, а, б), однослойными
из легкого бетона на пористом заполнителе класса В7,5, а также
из ячеистого бетона классов В2,5; 5. Панели наружных стен
жилых зданий на комнату производят размером 3,6×2,9×0,4 м,
массой до 4 т, а панели на две комнаты с двумя оконными прое-
мами имеют длину 6...6,6 м, массу до 8 т. Стеновые панели
армируют сварными сетками, а при наличии проемов по их пери-
метру устанавливаются каркасы. Для облегчения наружных стен
и повышения их теплоизоляции применяют трехслойные панели
с наружным и внутренним слоями из ячеистого бетона, минераль-
ного войлока и других материалов.

Панели внутренних стен выполняют однослойными
(рис. 10.2, б) сплошными и с дверными проемами длиной до 6 м,

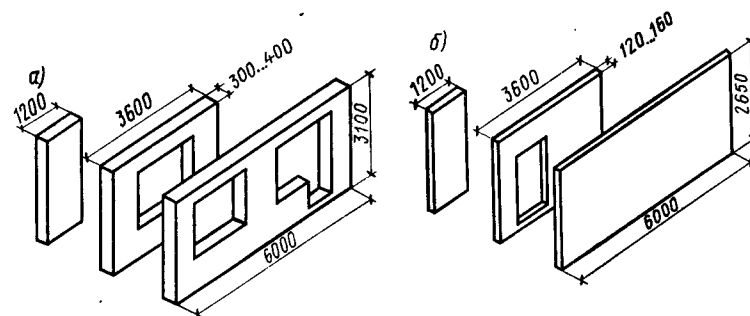


Рис. 10.2. Панели наружных (а) и внутренних (б) стен жилых зданий

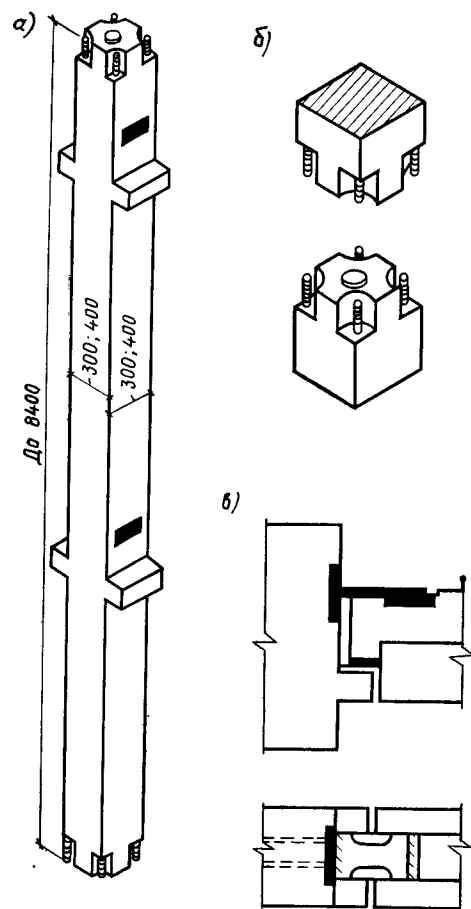


Рис. 10.3. Колонна каркаса многоэтажных зданий:

а — общий вид колонны длиной на два этажа; б — стык элементов; в — стык колонны с ригелем

12 м, шириной 2,4 и 1,5 и толщиной 220...300 мм. Ребристые П-образного сечения плиты (рис. 10.4, в) выполняют размером $8,8 \times 1,5 \times 0,4$ м, массой до 4 т. Для больших пролетов предназначены ребристые плиты типа 2Т (рис. 10.4, г), их размер $15 \times 3 \times 0,6$ м, масса до 11 т.

Лестничные марши выполняют в виде плит со ступенчатой поверхностью в средней части, а концевые участки образуют лестничные площадки (рис. 10.5). Размер марша $3,9 \times 1,5$ м, масса до 2,5 т, для их изготовления применяют тяжелый бетон классов В15...25. Лестничные марши можно изготавливать по конвейерному, агрегатно-поточному и стендовому способам.

Объемные элементы. Стремление максимально снизить тру-

высотой до 2,9 м и толщиной до 200 мм из тяжелого или конструкционного легкого бетона классов В12,5; 15 по конвейерному, агрегатно-поточному и кассетному способам производства.

Колонны многоэтажных зданий производят сечением 300×300 и 400×400 мм и длиной на 1...4 этажа. Наиболее распространены колонны длиной 8,4 м, массой до 3,5 т на два этажа (рис. 10.3). По концам колонны имеют выпуски арматуры, а также выступающие консоли для опирания ригелей. Колонны делают из тяжелого бетона классов В15...40 и из конструкционного легкого бетона классов В15...30. Армируют колонны пространственными каркасами из стали класса А-III, а изготавливают их по агрегатно-поточному и стендовому способам.

Плиты перекрытия изготавливают сплошными, с пустотами и ребристыми (рис. 10.4). Пустотелые плиты (рис. 10.4, б) изготавливают длиной 6,9 и

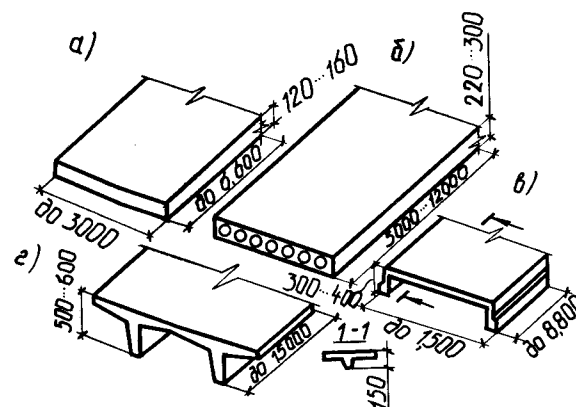


Рис. 10.4. Плиты перекрытий многоэтажных зданий:

а — сплошное сечения; б — многопустотная; в — ребристая; г — типа 2Т

довые затраты и ускорить строительство вызвало появление новых конструктивных решений зданий — объемных элементов (рис. 10.6). В настоящее время уже имеется опыт строительства жилых зданий из целых квартирных блоков, которые изготавливают на заводе со всеми санитарно-техническими и электротехническими устройствами, оснащают встроенной мебелью и кухонным оборудованием. Такие объемные блоки или собирают на заводе из отдельных плоских элементов, или изготавливают в специальных объемных кассетах. Монолитные блоки отличаются большей жесткостью и меньшей трудоемкостью изготовления. В зависимости от планировки блоки квартиры выпускают трех типов: две жилые комнаты; жилая комната, кухня и санитарный узел; лестничная клетка. Такая номенклатура блоков позволяет при различных их сочетаниях получать квартиры в одну, две и три комнаты. Монтаж домов из объемных элементов является новой, более высокой ступенью индустриального строительства.

Изделия санитарно-технические. В сборном домостроении санитарно-технические устройства: сети водопровода, канализа-

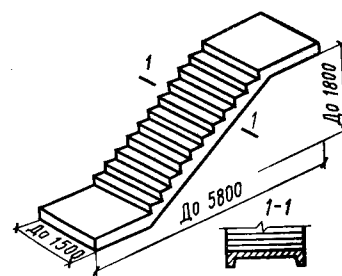


Рис. 10.5. Лестничный марш с площадками

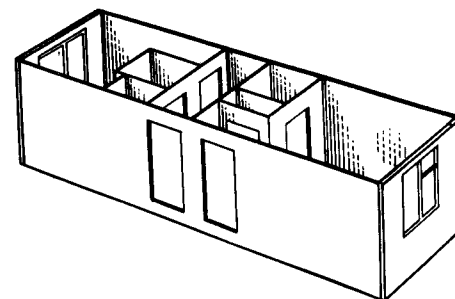


Рис. 10.6. Объемный элемент кухня — комната

ции, отопления, мусоропровода, вентиляционные каналы — выполняют из сборных элементов заводского изготовления. Все разводки сетей: металлические трубы водопровода, отопления и канализации — в процессе изготовления замоноличивают в тело панелей или специальных блоков. В готовом виде такие конструкции доставляют на строительную площадку, где путем соединения стыков их монтируют в общую систему.

Отопительные панели представляют собой прямоугольную бетонную плиту толщиной 60 мм, в которую заложены металлические или стеклянные трубы, присоединяемые к системе отопления. Кроме отопительных панелей изготавливают также панели междуэтажных перекрытий с заложенными в них отопительными трубами.

Санитарно-технические блоки представляют собой сборные железобетонные стеновые элементы с вмонтированными в них трубами и соединительными элементами для водопроводной, канализационной, газопроводной систем. Различают два вида блоков: вертикальный и горизонтальный.

Блоки вентиляционные применяют в зданиях для вытяжной вентиляции. Они представляют собой прямоугольные бетонные плиты с круглыми или квадратными отверстиями. Высоту вентиляционного блока назначают в зависимости от высоты помещения, где он будет установлен; ширину блока — от наличия каналов в блоке. В верхней части плоскости блока, выходящей в помещение, устраивают квадратное отверстие, предназначенное для сбора воздуха и соединяемое с одним из вертикальных каналов. Вентиляционные блоки устанавливают в гнездах, специально для этой цели оставленных в стене здания.

Блок мусоропровода по внешнему виду представляет собой железобетонный вертикальный элемент с круглым внутренним отверстием диаметром 350...500 мм. Внутреннее отверстие блока облицовывают асбестовой оболочкой в целях предохранения бетона от биологической коррозии и разрушения при падении мусора. Блоки мусоропровода рассчитаны на высоту одного или двух этажей. На высоте 0,8...1,0 м от низа блока имеется отверстие для сброса мусора. Блоки мусоропроводов монтируют в стенах лестничной клетки.

Санитарно-технические кабины. Существенным достижением строительной техники является применение объемных элементов — санитарно-технических кабин. Такое конструктивное решение оборудования жилых зданий санитарно-техническими устройствами вызвано значительными трудовыми затратами на оборудование санитарной техникой даже при использовании блоков. Санитарно-технические кабины оборудуют ванной длиной 1,5 м, смесителем горячей и холодной воды с душем на гибком шланге, фаянсовым умывальником, унитазом с низко расположенным бачком, полочкой для мыла, крючками для одежды, регистром для сушки полотенца и зеркалом. Кабины выпускают двух видов, отличающихся конструкцией оболочки. Первые выполняются из

металлического каркаса и обшиваются асбестоцементными листами. Вторые представляют собой монолитную железобетонную объемную скорлупу, изготавливаемую в специальных кассетах. Пол кабины облицовывают керамической плиткой или настилают линолеум или релин по двум слоям асбестоцементных листов с гидроизоляцией на мастике. На строительную площадку кабины доставляют в законченном виде, устанавливают в проектное положение и включают в общую систему отопления, вентиляции, канализации и горячего водоснабжения.

Архитектурные детали и ограды. Сборные железобетонные изделия довольно широко применяют для изготовления элементов оград, используя бетон повышенной прочности (класса не ниже В25...30) и морозостойкости (не менее F25) с предварительным напряжением арматуры. Изделия выпускают самого разнообразного профиля и рельефного рисунка на поверхности.

● **Изделия для промышленных зданий.** В номенклатуру конструкций одноэтажных промышленных зданий входят несущие и ограждающие элементы одно- и многопролетных зданий различной высоты (3,6...18 м), бескрановые и оборудованные мостовыми кранами, подвесными кран-балками, бесфонарные и с фонарями, а также зданий, имеющих скатную или плоскую кровлю. Номенклатура сборных конструкций одноэтажных промышленных зданий включает также фундаментные балки, колонны, подкрановые балки, стропильные и подстропильные балки, фермы, плиты покрытий и стеновые панели.

Фундаментные балки (рис. 10.7) применяют под наружные и внутренние стены при отдельно стоящих фундаментах; шаг колонн 6 и 12 м; длина балок соответственно 4,3...5,95 и 10,2...11,96 м. Балки первой группы изготавливают таврового или трапецевидного сечения (рис. 10.7, а, б), высотой 300 и 450 мм, массой до 2,2 т, их производят по агрегатно-поточному способу из бетона классов В15...25 и армируют сварными каркасами класса А-III. Балки второй группы изготавливают трапецевидного сечения, высотой 400—600 мм, массой до 5,5 т из бетона класса В35, армируют напрягаемой арматурной сталью классов А-IV и А-V на коротких силовых стендах.

Колонны (рис. 10.7) — основные элементы сборных каркасов одноэтажных промышленных зданий. В зданиях без кранового оборудования, с подвесным оборудованием, а также с мостовыми кранами при высоте зданий от пола до низа стропильных ферм до 10,8 м применяют колонны прямоугольного сечения массой до 12,4 т. Длина таких колонн 4,5...11,8 м, максимальные сечения колонн при грузоподъемности кранов 10...20 т — 400×600, 400×800 и 500×800 мм; их изготавливают из бетона классов В20...40.

В промышленных зданиях высотой от 10,8 до 18 м с мостовыми кранами грузоподъемностью до 50 т применяют двухветвевые колонны длиной 11,85...19,35 м с габаритами сечений подкрановой части 400×1000...600×1900 мм. Такие колонны изго-

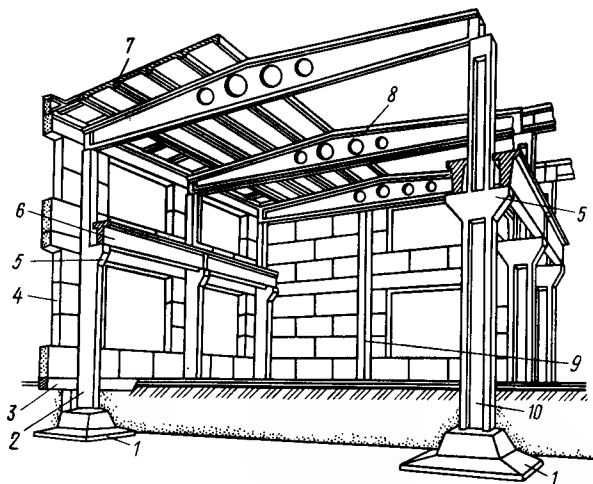


Рис. 10.7. Фрагмент одноэтажного промышленного здания:
1 — фундаменты; 2 — колонны наружного ряда; 3 — фундаментная балка; 4 — элементы стен; 5 — консоли колонн; 6 — подкрановая балка; 7 — панели покрытия; 8 — балки покрытия; 9 — торцовые колонны; 10 — колонны внутреннего ряда

товляют из бетона классов В25...40 и армируют стержневой арматурой из стали класса А-III.

Кроме указанных типовых конструкций колонн производят более эффективные сечения — двутавровые, кольцевые (изготавливаемые центробежным способом), а также сечения другой формы с предварительным напряжением арматуры.

Подкрановые балки изготавливают предварительно напряженными из бетона классов В35...50. При шаге колонн 6 и 12 м балки изготавливают длиной 5,95 и 11,95 м. Для работы мостовых электрических кранов грузоподъемностью 5, 10, 20 и 30 т, при пролете 6 м и тавровом сечении предусматривают балки высотой 800 мм, шириной 600 мм и толщиной 1200 мм. Толщина ребра по низу 200 мм, по верху 250 мм, на опорах ребро утолщается до 300 мм, бетон классов В35; 40, арматура напрягаемая из стержневой или канатной стали.

Для пролетов 12 м изготавливают балки из бетона классов В40; 50 двутаврового сечения высотой 1200 мм с шириной и толщиной верхней полки 650 и 160 мм соответственно, толщина стенки 140 мм, ширина нижней полки 340 мм. Для крепления подкрановых рельсов в полках балок предусмотрены отверстия с шагом 750 мм. Внутри отверстий помещают металлические трубки. Кроме того, в ребрах балок имеются отверстия для подвески кранового оборудования.

Изготавливают подкрановые балки по агрегатно-поточному или стендовому способу.

Стропильные и подстропильные фермы (рис. 10.7) предназначены для покрытий зданий пролетом 18 и 24 м. Стропильные

фермы бывают двух видов; раскосные сегментные с верхним поясом ломаного очертания и безраскосные с верхним поясом арочного очертания. Для пролетов 18 м общая высота фермы 2,74...3 м, длина 17,94 м, ширина поясов 240...300 мм. Для пролетов 24 м общая высота 3,3...3,4 м, длина 23,94 м и ширина поясов 240...350 мм. Подстропильные раскосные фермы применяют при шаге колонн 12 м, они имеют трапецевидные очертания и развитые по ширине пояса (550 мм) для опирания стропильных ферм длиной 11,95 м для зданий со скатной и плоской кровлей.

Для нижнего пояса всех ферм применяют предварительно напряженную стержневую арматуру классов А-IV и А-V или проволочную (канатную) арматуру. Остальные элементы ферм армируют сварными каркасами из стержневой стали класса А-III. Для изготовления ферм применяют бетон классов В35...50, их изготавливают на стендах или в силовых формах.

Стропильные и подстропильные балки применяют для покрытий производственных зданий (рис. 10.7) с шагом колонн 6 м и пролетами 6, 9, 12 и 18 м. Для сетки колонн 18×12 м применяют подстропильные балки длиной 12 м, при пролетах 6 и 9 м балки двускатных покрытий имеют тавровое сечение высотой 400...800 мм и ширину верхних поясов 30 см.

Для производственных зданий с пролетами 12 и 18 м применяют типовые предварительно напряженные решетчатые балки прямоугольного сечения с отверстиями в стенке и двутаврового сечения со сплошной стенкой (нетиповые). На опоре высота балок 800 мм, уклон верхнего пояса 1:12, его ширина 200...280 мм. Балки изготавливают на стендах или в силовых фермах из бетона класса В35, их армируют стержневой или проволочной (канатной) арматурой.

Железобетонные ребристые плиты покрытия промышленных зданий (рис. 10.8) применяют для скатных и плоских кровель. Типовые плиты производят 3×12 м, массой до 7,1 т и 3×6 м, массой до 2,7 т. К этим плитам производят в качестве доборных элементов плиты 1,5×12 и 1,5×6 м. Типовые плиты имеют П-образное сечение и состоят из системы продольных и поперечных ребер и монолитно связанной с ними плоской полкой толщиной 30 мм. Продольные ребра имеют высоту 300 и 450 мм соответственно для плит длиной 6 и 12 м, поперечные ребра имеют высоту 150 мм; их устраивают через 1...1,5 м.

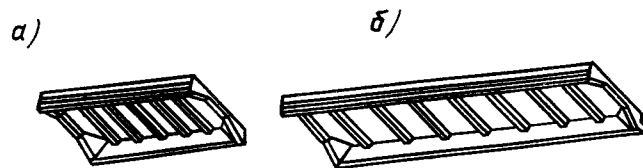


Рис. 10.8. Ребристые плиты покрытий длиной 6 м (а) и 12 м (б)

Иногда в полках плит предусматривают отверстия для размещения водосточных колонок, вентиляционных шахт, зенитных фонарей. Плиты покрытий изготавливают из бетона классов В20...35 по агрегатно-поточному и конвейерному способам. Полку и поперечные ребра армируют сварными сетками и каркасами из стали класса А-III, а продольные ребра выполняют из предварительно напряженной стержневой стали классов А-IV, А-V и А-VI.

Все большее распространение получают эффективные плиты на пролет размерами 3×18 и 3×24 м (рис. 10.9, а), причем они могут быть двух типов: сводчатые плиты-оболочки типа КЖС и плиты с малоуклонной плоской полкой типа П (рис. 10.9, б). Плиты КЖС имеют гладкую полку толщиной 30 мм, а продольные ребра — кессоны. В плитах типа П полка имеет ту же толщину 30 мм, но выполнена не гладкой, а разделена через 1...1,5 м поперечными ребрами. Продольные ребра П-образной плиты выполнены с кессонами. Такие плиты формируют из бетона классов В35; 40.

Панели стен отапливаемых зданий с шагом колонн 6 м представляют собой однослойные плиты из легкого или ячеистого бетона длиной 6 м, шириной 0,9...1,8 м и толщиной 160...300 мм. В неотапливаемых зданиях предусматривают плиты тех же размеров, толщиной 70 мм; при шаге колонн 12 м применяют панели в виде ребристых предварительно напряженных плит массой до 4,5 т, размерами $1,2 \times 12$, $1,8 \times 12$ и $2,4 \times 12$ м, с высотой продольных ребер до 300 мм, поперечных 130 мм и толщиной полки до 300 мм. Армируют панели сетками или каркасами из стержневой

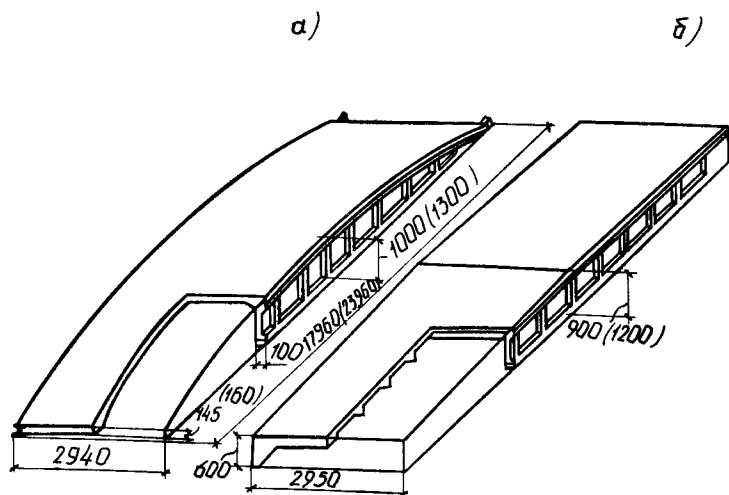


Рис. 10.9. Предварительно напряженные плиты на пролет размерами 3×18 и 3×24 м (для плит 3×24 м размеры даны в скобках): а — типа КЖС; б — типа П

арматуры класса А-III, предварительно напряженные конструкции — сталью классов А-IV и А-V.

Для многоэтажных производственных зданий номенклатура типовых железобетонных конструкций включает элементы каркаса и перекрытий с балочными и безбалочными перекрытиями.

В зданиях с балочными перекрытиями широко используют колонны прямоугольного сечения размерами 400×400 и 500×500 мм; длина колонн зависит от высоты этажа и обычно бывает 3,6...7,2 м, высота верхних этажей иногда достигает 10,8 м. Колонны нижних этажей обычно выполняют на два этажа, а для зданий с высотой этажей до 3,6 м — на три этажа. Длина колонн достигает 15 м. Колонны изготавливают из стали классов В25...40; их армируют сварными каркасами из стали класса А-III. Ригели поперечных рам имеют прямоугольное или тавровое сечение. В зависимости от сетки колонн (6×6 , 9×6 и 12×6 м) длина ригеля составляет 4,98...11,48 м. Производят ригели из бетона классов В15...40 при сетке колонн 6×6 м ригели армируют ненапрягаемой стержневой арматурой из стали класса А-III, а в других случаях — напрягаемой арматурой из стали классов А-IV и А-V.

Плиты перекрытий изготавливают с продольными и поперечными ребрами высотой 400 мм, шириной 3, 1,5 и 0,7 м из бетона классов В15...35, в качестве арматуры применяют стержни из стали классов А-III и А-IV.

В номенклатуру элементов многоэтажных зданий с балочными перекрытиями входят лестничные марши, балки лестничных клеток, а также балки для специального назначения (установки технологического оборудования).

Безбалочные перекрытия применяют в многоэтажных производственных зданиях, где необходимы гладкие потолки. Каркасы таких зданий состоят из колонн, консолей, надколонных и пролетных плит и пролетных плит, опертых по контуру. Колонны имеют квадратное сечение 400×400 , 500×500 и 600×600 мм, для опирания на колоннах устраивают четырехсторонние консоли. Длина колонн зависит от высоты этажа и бывает 3,8...7,63 м.

Консоли изготавливают двух типов: средние и крайние. Размер средних в плане $2,7 \times 2,7$ м, крайних — $1,95 \times 1,95$. Напольные и пролетные плоские плиты предусматривают толщиной 150...180 мм из бетона классов В25...40, а консоли — из бетона классов В15...25. Для всех изделий используется стержневая арматура класса А-III.

● **Изделия для сооружений.** Изделия для транспортного строительства следующие: 1) мостовые конструкции — пролетные строения предварительно напряженные из бетона класса не ниже В30, стойки опор мостов из бетона класса не ниже В25, морозостойкость бетона не менее F200; 2) плиты покрытий дорог и аэродромов изготавливают из бетона класса В30, аэродромные плиты предварительно напряженными, морозостойкостью не менее — F100...150 в зависимости от климатических условий; 3) шпалы и опоры контактной сети электрифицированных железных дорог, специфиче-

ские изделия железнодорожного строительства. Опоры представляют собой вертикальную стойку высотой 10...15 м, к которой крепится консоль, служащая подвеской для провода. Первые железобетонные опоры имели сплошное прямоугольное сечение; сейчас применяют трубчатые, двутавровые и швеллерные опоры со сквозными и решетчатыми стенками. Класс бетона опор не ниже В30, морозостойкость F100...200 в зависимости от климатических условий. Для повышения долговечности и жесткости опоры изготовляют предварительно напряженными.

Изделия гидротехнического строительства — балки и балочные плиты перекрытий пролетом более 6 м между бычками и для образования водосливных поверхностей плотин, для шпунта свай, балок эстакад морских портов, фундаментные плиты, подпорные элементы речных набережных — изготовляют из бетона класса В25 и более. Некоторые сборные элементы гидротехнических и мелиоративных сооружений, например дренажные блоки и трубы, блоки для волноломов и молов, изделия, применяемые в сетевых сооружениях мелиоративных систем и др., изготовляют из бетона класса В15. К бетону для гидротехнических сооружений предъявляются повышенные требования в отношении морозостойкости, водонепроницаемости и водостойкости, а к изделиям, подвергающимся воздействию потоков с большими скоростями — износоустойчивости.

● **Изделия сельскохозяйственного строительства и общего назначения.** Из сборных железобетонных конструкций и деталей в сельских местностях возводят жилые дома, здания машинно-тракторных станций, животноводческие фермы, силосные сооружения, склады, теплицы и другие постройки сельскохозяйственного назначения. Изделия для сельскохозяйственных сооружений изготовляют из бетона класса не ниже В15; изделия для силосных траншей, ям и башен должны иметь защитный слой от действия органических кислот.

Сборные железобетонные конструкции и детали для сельского строительства не отличаются от применяемых в гражданском и промышленном строительстве, но некоторые сооружения, например силосные башни и бункера элеваторов, выполняются из деталей несколько другой конструкции. В данном случае применяют сборные железобетонные кольца, диаметр которых равен диаметру будущего сооружения. При возведении башен большого диаметра кольца заменяют криволинейными плитами.

К изделиям общего назначения относят трубы, заборы, стойки под светильники. Последние представляют собой изделия, аналогичные по конструкции рассмотренным выше опорам для подвески проводов. Трубы железобетонные по своему назначению делят на безнапорные и напорные, предназначенные выдерживать определенное гидростатическое давление. Безнапорные трубы применяют для устройства канализационных наружных сетей и напорных водоводов. Изготовляют их центрифугированием, вибрированием, прессованием. Диаметр труб достигает 1200 мм и более. К бетону

для безнапорных труб предъявляют особые требования в отношении водонепроницаемости и коррозионной стойкости под действием сточных вод.

В железобетонных трубах с обычным армированием невозможно создать достаточное гидростатическое давление по той причине, что в бетоне стенок труб при этом появляются мельчайшие трещины и труба начинает течь. От образования микротрещин предохраняет предварительное напряжение арматуры. Применение предварительного напряжения арматуры дает возможность устраивать напорные водоводы из железобетонных труб, что позволяет в 5...10 раз уменьшить расход металла и в 1,5...2 раза снизить стоимость водоводов.

ГЛАВА 11

ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Технологический процесс производства сборных бетонных и железобетонных изделий состоит из ряда самостоятельных операций, объединяемых в отдельные процессы. Операции условно разделяют на основные, вспомогательные и транспортные.

● К основным операциям относят приготовление бетонной смеси, включая подготовку составляющих материалов; изготовление арматурных элементов и каркасов; формирование изделий, куда входит их армирование; тепловую обработку отформованных изделий, освобождение готовых изделий от форм и подготовка форм к очередному циклу; отделка и обработка лицевой поверхности некоторых видов изделий и т. п.

● Кроме основных технологических операций на каждом этапе производят вспомогательные операции: получение и подачу пара и воды, сжатого воздуха, электроэнергии, складирование сырьевых материалов, полуфабрикатов и готовой продукции, пооперационный контроль и контроль качества готовой продукции и др., необходимые для выполнения основных операций.

● К транспортным относят операции по перемещению материалов, полуфабрикатов и изделий без изменения их состояния и формы.

Оборудование, используемое для выполнения соответствующих операций, называют соответственно основным (технологическим), вспомогательным и транспортным.

● Основное и транспортное оборудование, предназначенное для выполнения операций в определенной последовательности, называют технологической линией.

На заводах сборного железобетона приняты поточные методы организации технологического процесса, сущность которых состоит в том, что весь процесс расчленяется на отдельные операции, которые выполняются в строгой последовательности на определенных рабочих местах, оснащенных специализированным оборудованием. На каждом рабочем месте в соответствии с принятыми методами обработки, оборудованием и организационным строением выполняется одна или несколько близких между собой технологических операций.

В промышленности сборного железобетона наиболее распространены два основных метода организации производства: в перемещаемых и неперемещаемых формах. Они отличаются условиями перемещения форм, изделий, машин и рабочих.

Выполнение комплекса основных технологических операций по изготовлению сборного железобетона осуществляется по трем

принципиальным схемам: стандовой, поточно-агрегатной и конвейерной.

При изготовлении изделий в неперемещаемых формах все технологические операции, от подготовки форм до распалубки готовых отвердевших изделий, осуществляются на одном месте. К этому способу относится формование изделий на плоских стендах или матрицах, в кассетах.

При изготовлении изделий в перемещаемых формах отдельные технологические операции формования или отдельный комплекс их производятся на специализированных постах. Форма, а затем изделие вместе с формой перемещаются от поста к посту по мере выполнения отдельных операций. В зависимости от степени расчлененности общего технологического процесса формования по отдельным постам различают конвейерный, имеющий наибольшую расчлененность, и поточно-агрегатный способы. Последний отличается тем, что ряд операций — укладка арматуры и бетонной смеси, уплотнение — выполняются на одном посту, т. е. агрегированы между собой. При конвейерном способе большинство операций выполняется на соответствующих постах, образующих в совокупности технологическую линию.

§ 11.1. Способы уплотнения бетонной смеси

● Одно из важнейших свойств бетонной смеси — способность пластически растекаться под действием собственной массы или приложенной к ней нагрузки. Это и определяет сравнительную легкость изготовления из бетонной смеси изделий самого различного профиля и возможность применения для ее уплотнения различных способов. При этом способ уплотнения и свойства смеси (ее подвижность или текучесть) находятся в тесной связи. Так, жесткие нетекучие смеси требуют энергичного уплотнения, и при формовании из них изделий следует применять интенсивную вибрацию или вибрацию с дополнительным прессованием (пригрузом). Возможны также и другие способы уплотнения жестких смесей — трамбование, прессование, прокат.

Подвижные смеси легко и эффективно уплотняются вибрацией. Применение же сжимающих (прессующих) видов уплотнения — прессования, проката, а также и трамбования — для таких смесей непригодно. Под действием значительных прессующих усилий или часто повторяющихся ударов трамбовки смесь будет легко вытекать из-под штампа или разбрызгиваться трамбовкой.

Литые смеси способны уплотняться под действием собственной массы. Для повышения эффекта уплотнения их иногда подвергают кратковременной вибрации.

Таким образом, могут быть выделены следующие способы уплотнения бетонных смесей: вибрирование, прессование, прокат, трамбование и литые. Наиболее эффективным как в техническом, так и в экономическом отношении является способ вибрирования. Его успешно применяют также в сочетании с другими способами

механического уплотнения — трамбованием (вибротрамбование), прессованием (вибропрессование), прокатом (вибропрокат). Разновидностью механических способов уплотнения подвижных бетонных смесей является центрифугирование, используемое при формировании полых изделий трубчатого сечения. Хорошие результаты в отношении получения бетона высокого качества дает вакуумирование смеси в процессе ее механического уплотнения (преимущественно вибрированием), однако значительная продолжительность операции вакуумирования существенно снижает ее технико-экономический эффект, и поэтому этот способ мало распространен в технологии сборного железобетона.

Рассмотрим кратко сущность приведенных выше способов уплотнения бетонных смесей.

● **Вибрирование — уплотнение бетонной смеси в результате передачи ей часто повторяющихся вынужденных колебаний, в совокупности выражающихся встряхиванием.** В каждый момент встряхивания частицы бетонной смеси находятся как бы в подвешенном состоянии и нарушается связь их с другими частицами. При последующем действии силы толчка частицы под собственной массой падают и занимают при этом более выгодное положение, при котором на них в меньшей степени могут воздействовать толчки. Это отвечает условию наиболее плотной их упаковки среди других, что в конечном итоге приводит к получению плотной бетонной смеси. Второй причиной уплотнения бетонной смеси при вибрировании является свойство переходить во временно текучее состояние под действием приложенных к ней внешних сил, которое называется тиксотропностью. Будучи в жидком состоянии, бетонная смесь при вибрировании начинает растекаться, приобретая конфигурацию формы, и под действием собственной массы уплотняться. Третья причина уплотнения определяет высокие технические свойства бетона.

Высокая степень уплотнения бетонной смеси вибрированием достигается применением оборудования незначительной мощности. Например, бетонные массивы емкостью несколько кубометров уплотняют вибраторами с мощностью привода всего 1...1,5 кВт.

Способность бетонных смесей переходить во временно текучее состояние под действием вибрации зависит от подвижности смеси и скорости перемещения при этом частиц ее относительно друг друга. Подвижные смеси легко переходят в текучее состояние и требуют небольшой скорости перемещения. Но с увеличением жесткости (уменьшением подвижности) бетонная смесь все более утрачивает это свойство или требует соответствующего увеличения скорости колебаний, т. е. необходимы более высокие затраты энергии на уплотнение.

Скорость v (см/с) колебаний при вибрировании выражают произведением амплитуды A на частоту n колебаний: $v = An$. При постоянной частоте колебаний вибромеханизма (для большинства виброплощадок равной 3000 кол/мин) изменение скорости колебаний может быть достигнуто изменением величины

амплитуды. Практика показала, что подвижные бетонные смеси эффективно уплотняются при амплитуде колебаний 0,3...0,35 мм, а жесткие — 0,5...0,7 мм.

На качество виброуплотнения оказывают влияние не только параметры работы вибромеханизма (частота и амплитуда), но также продолжительность вибрирования. Для каждой бетонной смеси в зависимости от ее подвижности существует своя оптимальная продолжительность виброуплотнения, до которой смесь уплотняется эффективно, а сверх которой затраты энергии возрастают в значительно большей степени, чем происходит уплотнение смеси. Дальнейшее уплотнение вообще не дает прироста плотности. Более того, чрезмерно продолжительное вибрирование может привести к расслаиванию смеси, разделению ее на отдельные компоненты — цементный раствор и крупные зерна заполнителя, что в конечном счете приведет к неравномерной плотности изделия по сечению и снижению прочности в отдельных частях его.

Естественно, что продолжительное вибрирование невыгодно и в экономическом отношении: возрастают затраты электроэнергии и трудоемкость, снижается производительность формовочной линии.

Интенсивность I (см²/с³) виброуплотнения, выраженная наименьшей продолжительностью вибрирования, зависит также от основных параметров работы вибромеханизма — частоты и амплитуды колебаний, применяемых с учетом их взаимного сочетания скорости и ускорения колебаний: $I = A^2/n^3$.

Интенсивность виброуплотнения также возрастает, если частота вынужденных колебаний оказывается равной частоте собственных колебаний. В связи с тем что бетонная смесь имеет большой диапазон размеров частиц (от нескольких микрон для цемента до нескольких сантиметров для крупного заполнителя) и соответственно различия в частоте их собственных колебаний, наиболее интенсивное уплотнение смеси будет в том случае, когда режим вибрирования характеризуется различными частотами. Так возникло предложение применять поличастотное вибрирование.

Эти факторы следует учитывать для технико-экономической оценки операций формования изделий. Из сказанного следует, что эффективность уплотнения возрастает с увеличением энергии уплотнения, продолжительность уплотнения при этом снижается и производительность формовочной линии повышается. Таким образом, на основании технико-экономического анализа свойств бетонной смеси, производительности формовочной линии можно выбрать мощность виброуплотняющих механизмов.

Виброуплотнение бетонной смеси производят переносными и стационарными вибромеханизмами. Применение переносных вибромеханизмов в технологии сборного железобетона ограничено. Их используют в основном при формировании крупноразмерных массивных изделий на стендах.

В технологии сборного железобетона на заводах, работающих

по поточно-агрегатной и конвейерной схемам, применяют виброплощадки. Виброплощадки отличаются большим разнообразием типов и конструкций вибраторов — электромеханические, электромагнитные, пневматические; характером колебаний — гармонические, ударные, комбинированные; формой колебаний — круговые, направленные — вертикальные, горизонтальные; конструктивными схемами стола — со сплошной верхней рамой, образующей стол с одним или двумя вибрационными валами, и собранные из отдельных виброблоков, в целом представляющих общую вибрационную плоскость, на которой располагается форма с бетонной смесью.

Для прочности крепления формы к столу площадки предусматриваются специальные механизмы — электромагниты пневматические или механические прижимы.

Виброплощадка (рис. 11.1) представляет собой плоский стол, опирающийся через пружинные опоры на неподвижные опоры или раму (станину). Пружины предназначены гасить колебания стола и предупреждать этим их воздействие на опоры, иначе произойдет их разрушение. В нижней части к столу жестко прикреплен вибривал с расположенными на нем эксцентриками. При вращении вала от электромотора эксцентрики возбуждают колебания стола, передающиеся затем форме с бетонной смесью, в результате происходит ее уплотнение. Мощность виброплощадки оценивается ее грузоподъемностью (масса изделия вместе с формой), которая составляет 2...30 т.

Заводы сборного железобетона оборудованы унифицированными виброплощадками, с частотой вращения 3000 кол/мин и амплитудой 0,3...0,6 мм. Эти виброплощадки хорошо уплотняют жесткие бетонные смеси конструкций длиной до 18 м и шириной до 3,6 м.

При формировании изделий на виброплощадках, особенно из жестких бетонных смесей на пористых заполнителях, в целях улучшения структуры бетона используют пригрузки — статический,

вибрационный, пневматический, вибропневматический. Величина пригрузки в зависимости от свойств бетонной смеси составляет 2...5 кПа.

При формировании изделий в неподвижных формах уплотнение бетонной смеси производят с помощью поверхностных, глубинных и навесных вибраторов, которые крепят к форме. При изготовлении изделий в горизонтальных формах применяют жесткие или малоподвижные бетонные смеси, а при формировании в вертикаль-

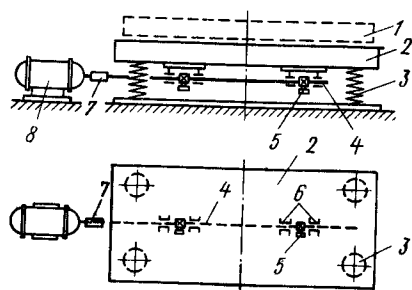


Рис. 11.1. Одновальная виброплощадка:

1 — форма; 2 — вибрационная рама; 3 — пружины; 4 — вал; 5 — дебаланс; 6 — подшипники; 7 — муфта сцепления; 8 — электродвигатель

ных формах (в кассетах) применяют подвижные смеси с осадкой конуса 8...10 см.

● Прессование — редко применяемый способ уплотнения бетонной смеси в технологии сборного железобетона, хотя по техническим показателям отличается большой эффективностью, позволяя получать бетон высокой плотности и прочности при минимальном расходе цемента (100...150 кг/м³ бетона). Распространению способа прессования препятствуют исключительно экономические причины. Прессующее давление, при котором бетон начинает эффективно уплотняться, — 10...15 МПа и выше. Таким образом, для уплотнения изделия на каждый 1 м² его следует приложить нагрузку, равную 10...15 МН. Прессы такой мощности в технике применяют, например, для прессования корпусов судов, но стоимость их оказывается столь высокой, что полностью исключает экономическую целесообразность использования таких прессов.

В технологии сборного железобетона прессование используют как дополнительное приложение к бетонной смеси механической нагрузки при ее вибрировании. В этом случае потребная величина прессующего давления не выходит за пределы 500...1000 Па. Технически такого давления достигают под действием статически приложенной нагрузки в результате принудительного перемещения отдельных частиц бетонной смеси.

Различают прессование штампами плоскими и профильными. Последние передают свой профиль бетонной смеси. Так формируют лестничные марши, некоторые виды ребристых панелей. В последнем случае способ прессования называют еще штампованием. Прокат является разновидностью прессования. В этом случае прессующее давление передается бетонной смеси только через небольшую площадь катка, что соответственно сокращает потребность в давлении прессования. Но здесь особую значимость приобретают пластические свойства бетонной смеси, связность ее массы. При недостаточной связности будет происходить сдвиг смеси прессующим валком и разрыв ее.

● Центрифугирование — уплотнение бетонной смеси в результате действия центробежных сил, возникающих в ней при вращении. Для этой цели применяют центрифуги (рис. 11.2), представляющие собой форму трубчатого сечения, которой в процессе уплотнения сообщается вращение до 600...1000 мин⁻¹. Загруженная в форму бетонная смесь (обязательно подвижной консистенции) под действием центробежных сил, разви-

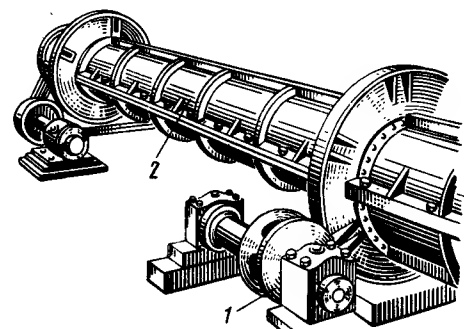


Рис. 11.2. Центрифуга для изготовления труб:

1 — опорные ролики; 2 — форма

вающихся при вращении, прижимается к внутренней поверхности формы и уплотняется при этом. В результате различной плотности твердых компонентов бетонной смеси и воды из бетонной смеси удаляется до 20...30% воды, что способствует получению бетона высокой плотности.

Способ центрифугирования сравнительно легко позволяет получать изделия из бетона высокой плотности, прочности (40...60 МПа) и долговечности. При этом для получения бетонной смеси высокой связности требуется большое количество цемента (400...450 кг/м³), иначе произойдет расслоение смеси под действием центробежных сил на мелкие и крупные зерна, так как последние с большой силой будут стремиться прижаться к поверхности формы. Способом центрифугирования формируют трубы, опоры линий электропередач, стойки под светильники.

● При вакуумировании в бетонной смеси создается разрежение до 0,07...0,08 МПа и воздух, вовлеченный при ее приготовлении и укладке в форму, а также немного воды удаляется из бетонной смеси под действием этого разрежения: освободившиеся при этом места занимают твердые частицы и бетонная смесь приобретает повышенную плотность. Кроме того, наличие вакуума вызывает прессующее действие на бетонную смесь атмосферного давления, равного величине вакуума. Это также способствует уплотнению бетонной смеси. Вакуумирование сочетается, как правило, с вибрированием. В процессе вибрирования бетонной смеси, подвергнутой вакуумированию, происходит интенсивное заполнение твердыми компонентами пор, образовавшихся при вакуумировании на месте воздушных пузырьков и воды. Однако вакуумирование в техническом отношении имеет важный технико-экономический недостаток, а именно: большую продолжительность процесса — 1...2 мин на каждый 1 см толщины изделия в зависимости от свойств бетонной смеси и величины сечения. Толщина слоя, которая может быть подвергнута вакуумированию, не превышает 12...15 см. Вследствие этого вакуумированию подвергают преимущественно массивные конструкции для придания поверхностному слою их особо высокой плотности. В технологии сборного железобетона вакуумирование практически не находит применения.

§ 11.2. Армирование железобетонных изделий

В заводском производстве на долю арматуры приходится около 20% себестоимости железобетонных изделий, поэтому вопросы организации арматурных работ на заводах сборного железобетона являются важнейшими и в техническом, и в экономическом отношениях.

Различают армирование железобетонных изделий ненапряженное (обыкновенное) и предварительно напряженное. Операции армирования и виды арматуры, применяемые при каждом

из этих способов армирования, имеют ряд принципиальных отличий.

● Ненапряженное армирование осуществляется с помощью плоских сеток и пространственных (объемных) каркасов, изготовленных из стальных стержней различного диаметра, сваренных между собой в местах пересечений. В железобетоне различают арматуру несущую (основную) и монтажную (вспомогательную). Несущая арматура располагается в местах изделия, в которых под нагрузкой возникают растягивающие напряжения; арматура воспринимает их. Монтажная арматура располагается в сжатых или ненапряженных участках изделия. Кроме этих видов арматуры применяют петли и крюки, необходимые при погрузочных работах, а также закладные части, крепления и связи сборных элементов между собой.

Наименьшие трудовые затраты на армирование изделий и конструкций будут при применении арматурных каркасов наибольшей степени готовности, т. е. состоящих не только из основной арматуры, но и из вспомогательной с приваренными петлями, крюками, закладными деталями. В этом случае операция по армированию сводится к установке готового арматурного каркаса в форму его и закреплению.

Арматурные сетки и каркасы изготовляют в арматурном цехе, оборудованном резательными, гибочными и сварочными аппаратами. Процесс производства строится по принципу единого технологического потока, от подготовки арматурной стали до получения готового изделия. Арматурные сетки и каркасы изготовляют в соответствии с рабочими чертежами, в которых указаны длина и диаметр стержней, их количество, расстояние между ними, места приварки закладных деталей и расположения монтажных петель. При установке и раскреплении каркасов в форме необходима высокая точность, так как от этого зависит величина защитного слоя бетона в изделии, иначе может возникнуть коррозия арматурной стали.

Стержневую арматурную сталь диаметром до 10 мм поставляют на завод в мотках (бухтах), а диаметром от 10 мм и более — прутках длиной 6...12 м или мерной длины, оговариваемой в заказах. Арматурную проволоку поставляют в мотках, причем каждый моток состоит из одного отрезка проволоки. Изготовление арматуры складывается из следующих операций: подготовки проволоочной и прутковой стали — чистки, правки, резки, стыкования, гнутья; сборки стальных стержней в виде плоских сеток и каркасов; изготовления объемных арматурных каркасов, включая приварку монтажных петель, закладных частей, фиксаторов. Подготовка арматуры, поступающей на завод в мотках и бухтах, заключается в их размотке, выпрямлении (правке), очистке и разрезке на отдельные стержни заданной длины. Правку и резку арматурной стали осуществляют на правильно отрезных станках-автоматах.

Прутковую арматурную сталь разрезают на стержни задан-

ной длины, а также стыкуют сваркой в целях уменьшения отходов. Стыкуют стержни посредством контактной стыковой электросварки и только в отдельных случаях при использовании стержней больших диаметров применяют дуговую сварку. Контактную стыковую сварку осуществляют методом оплавления электрическим током торцов стержней в местах их будущего стыка. При этом стержни сильно сжимают и сваривают между собой.

При изготовлении монтажных петель, хомутов и других фигурных элементов арматуры прутковую и проволочную арматурную сталь после разрезки подвергают гнущю.

Сборку сеток и каркасов из стальных арматурных стержней производят посредством точечной контактной электросварки. Сущность ее заключается в следующем. При прохождении электрического тока через два пересекающихся стержня в местах их контакта электрическое сопротивление оказывается наибольшим, стержни в этом месте разогреваются и, достигнув пластического состояния металла, свариваются между собой. Прочной сварке способствует также сильное сжатие стержней между собой. Процесс точечной сварки может длиться доли секунды при применении тока в несколько десятков тысяч ампер.

Точечную сварку осуществляют с помощью специальных сварочных аппаратов. Они отличаются мощностью трансформатора, количеством одновременно свариваемых точек (одно- и многоточечные), характером используемых устройств для сжатия свариваемых стержней. Сварочные машины позволяют создавать в комплексе с другими машинами и установками поточные автоматические линии изготовления плоских сеток как готового арматурного элемента, так и полуфабрикатов для изготовления пространственных каркасов.

На рис. 11.3 приведена автоматическая линия для сварки широких сеток. В состав линии входят групповые бухтодержатели продольной и поперечной подачи, сварочная машина МТМС с отрезным устройством. В линии предусмотрена электромагнитная система программирования подачи поперечных и дополнительных продольных стержней, пневматические ножницы для поперечной резки сетки, посты для приварки закладных деталей и устройства для фиксаторов. Поточное выполнение всех операций по изготовлению арматурных сеток на одной технологической линии значительно снижает трудоемкость процесса по сравнению с доработкой сеток на кондукторах, выполняемой обычно вручную.

Изготовление пространственных арматурных каркасов производят в основном из плоских сеток, соединяемых между собой на специальных сварочных машинах. Сборка каркасов может производиться в горизонтальном и вертикальном положениях.

Для удобства соединения узлов клещами для точечной сварки применяют вертикальный кондуктор (рис. 11.4). Плоские элементы арматуры укладывают между штырями кондуктора, которые

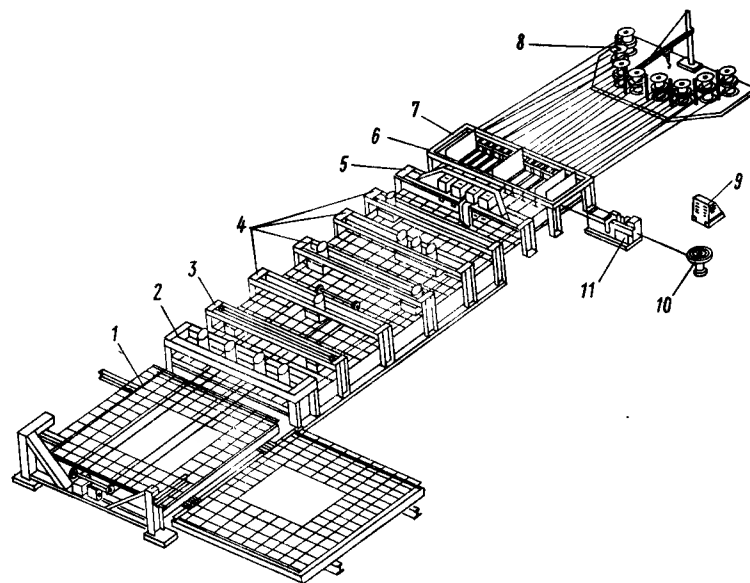


Рис. 11.3. Автоматизированная линия для сварки широких сеток:

1 — передвижной приемный стол сеток; 2 — устройство для приварки и изгиба фиксаторов; 3 — агрегат для приварки закладных деталей; 4 — устройство для вырубки отверстий; 5 — пневматические ножницы; 6 — сварочная машина МТМС 18×75; 7 — механизм подачи продольной арматуры; 8 — бухтодержатели с консольным краном; 9 — стационарная сварочная машина; 10 — бухтодержатель для поперечной арматуры; 11 — станок для правки и резки арматуры

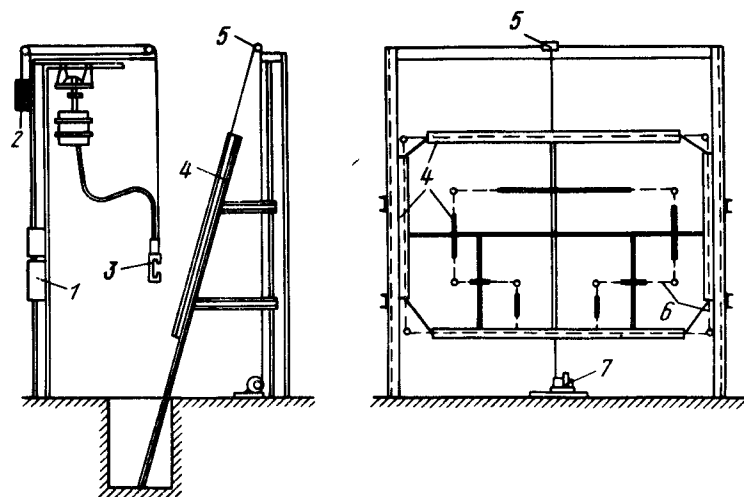


Рис. 11.4. Кондуктор для сварки пространственных каркасов:

1 — пульт управления; 2 — противовес; 3 — сварочные клещи; 4 — кондуктор; 5 — блок; 6 — свариваемый каркас; 7 — лебедка

ми они удерживаются на поворотной консоли, и кондуктор с арматурой можно перемещать вверх и вниз с помощью лебедки. Некоторые узлы кондуктора соединены между собой болтами. Это позволяет применять один и тот же кондуктор для сборки различных арматурных каркасов, закрепляя его элементы в соответствии с размером собираемого каркаса.

При необходимости (например, для ребристых плит) плоские сетки и каркасы можно гнуть на специальных гибочных станках.

● **Напряженное армирование** — создание в бетоне по всему сечению или только в зоне растягивающих напряжений предварительного обжатия, величина которого превышает напряженное растяжения, возникающее в бетоне при эксплуатации. Обычно предварительное обжатие бетона 5...6 МПа, а при изготовлении железобетонных напорных труб 10...12 МПа. Обжатие бетона, как отмечалось выше, осуществляют силами упругого последействия натянутой арматуры. Это достигается силами сцепления арматуры с бетоном или с помощью анкерных устройств.

Для обеспечения обжатия бетона применяемая арматурная сталь должна находиться в пределах упругих деформаций и не превышать 85...90% от предела текучести стали, а для углеродистых сталей, не имеющих четко выраженного предела текучести, — 65...70% от предела прочности на разрыв.

В качестве основной напрягаемой арматуры применяют проволочную и прутковую арматурные стали, а в качестве вспомогательной ненапрягаемой арматуры, если она имеет место в напряженных изделиях, — сварные сетки и каркасы.

При изготовлении предварительно напряженных изделий пользуются одноосным обжатием бетона отдельными стержнями или пучками проволок, располагаемых в изделии вдоль его продольной оси, и объемным обжатием путем навивки напряженной проволоки в двух или нескольких направлениях. Можно навивать проволоку и на готовое изделие с последующей защитой арматуры слоем бетона.

Арматурные элементы, применяемые в конструкциях, состоят из собственно арматуры, устройств для закрепления арматуры при натяжении и приспособлений для обеспечения проектного расположения отдельных стержней и проволок, из которых комплектуется арматурный элемент. Конструкция устройств для закрепления арматуры связана с технологией изготовления арматурного элемента, типом натяжения машин и приспособлений. Применяют два вида этих устройств: зажимы и анкеры. В свою очередь, зажимы и анкеры подразделяют по способу закрепления арматуры на клиновые, плоские, конические, волновые, петлевые, резьбовые, шпоночные и глухие анкеры, в которых концы арматурных пучков опрессовываются в обойме из мягкой стали. Все приведенные устройства, за исключением резьбовых, применяют для закрепления как круглых стержней, так и стержней периодического профиля.

Для захвата и закрепления стержневой арматуры применяют

наконечники с винтовой нарезкой или различные клиновые су-хари с профилем, обратным профилю натягиваемой арматуры. Прогрессивной конструкцией зажимных устройств являются групповые зажимы, применяемые при предварительной механизированной сборке проволочных пакетов. Зажимы применяют для закрепления каждого стержня, нити проволоки или группы их.

Анкеры для проволочных пучков различают по способу натяжения и закрепления концов. Для закрепления пучков применяют два типа анкеров: конический с натяжением арматуры домкратом двойного действия и гильзовый с натяжением арматуры стержневым домкратом.

Передачу предварительного напряжения арматуры на бетон осуществляют тремя способами: 1) посредством сцепления арматуры диаметром 2,5...3 мм с бетоном; при большем диаметре арматуры сцепление обеспечивается путем устройства вмятин на поверхности проволоки или свивкой прядей из 2...3 проволок либо применением арматуры периодического профиля; 2) посредством сцепления арматуры с бетоном, усиленного анкерными устройствами; 3) посредством передачи усилий натяжения на бетон через анкерные устройства на концах арматурного элемента без учета сцепления арматуры и бетона.

● **Натяжение арматуры производят различными способами: механическим, электротермическим, а также химическим при применении напрягающегося цемента.** При *механическом способе* натяжения арматура растягивается осевой нагрузкой, создаваемой домкратами. Сначала арматуру натягивают до усилия, равного 50% проектного напряжения, при этом производят осмотр зажимных устройств и расположения арматуры. Затем натяжение арматуры доводят до величины, превышающей на 10% проектное натяжение, но не более 85% предела прочности проволоки при растяжении, и в таком состоянии выдерживают в течение 5 мин, после чего натяжение снижают до проектной величины. Отпуск напряженной арматуры (обжатие бетона) производят после достижения бетоном изделия необходимой прочности и проверки заанкеривания концов проволоки в бетоне. Фактическую прочность бетона определяют испытанием контрольных образцов. Прочность бетона во время отпуска арматуры составляет обычно 70% проектной прочности. Отпуск натяжения на стендах осуществляют постепенно, в 2...3 этапа. Разгрузку натянутых проволок при невозможности постепенного отпуска натяжения производят симметрично относительно оси поперечного сечения с числом одновременно разрезаемых проволок не более 10...15% от общего числа проволок.

Сущность *электротермического способа* натяжения заключается в том, что удлинение арматуры достигается электрическим нагревом до определенной температуры, после чего нагретый стержень заанкеривается с двух сторон в упорах формы или стенда, которые препятствуют укорочению стержня при его охлаждении. После бетонирования конструкции и отвердения

бетона арматура освобождается от упоров и усилия натяжения арматуры передаются на бетон. Этот способ натяжения арматуры по сравнению с силовыми имеет преимущества как по простоте оборудования, так и по трудоемкости. Электротермический способ применяют для натяжения стержневой арматурной стали.

Для натяжения арматуры электротермическим способом применяют установки с последовательным и одновременным натяжением нескольких стержней. Кроме того, установки могут быть с нагревом стержней вне формы или непосредственно в ней. На установке (рис. 11.5) вне формы можно производить нагрев 3...4 арматурных стержней диаметром 12...14 мм, что соответствует числу стержней в изделии. Установка состоит из двух контактных опор (неподвижной и подвижной) и средней поддерживающей. Каждый контакт имеет две губки: токопроводящую и прижимную. Нагрев стержней контролируется по их удлинению автоматически. Нагретые стержни с установки снимаются и укладываются в упоры форм, которые препятствуют укорочению стержня при его охлаждении. После бетонирования конструкции и отвердения бетона арматуру освобождают от упоров и усилие натяжения арматуры передается на бетон.

Непрерывное механическое и электромеханическое натяжение арматуры сводится к тому, что проволока, предварительно напряженная до заданной величины, укладывается на поддон формы в соответствии с принятой схемой армирования. Фиксация натянутой проволоки производится навивкой ее вокруг штырей, расставленных по периметру поддона или стенда. Усилие от натяжения арматуры передается через штыри на стенд или форму

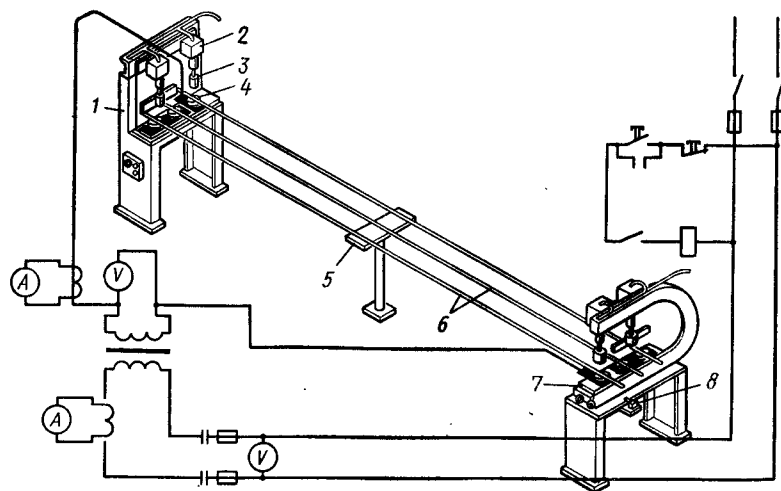


Рис. 11.5. Установка для электронагрева стержневой арматуры вне формы: 1 — неподвижная опора; 2 — пневмоцилиндр; 3 — прижимная губка; 4 — токопроводящая губка; 5 — средняя опора; 6 — нагреваемый стержень; 7 — подвижная опора; 8 — конечный выключатель

до отвердения бетона в изделии. После достижения бетоном необходимой прочности проволока обрезается и усилие натяжения передается с арматуры на бетон. Арматура может располагаться в продольном или поперечном направлении по отношению к оси изделия, перекрестно или по диагонали. Бетон в изделии получает двух-трехслойное и даже объемное предварительное обжатие.

Преимуществом непрерывного армирования является возможность комплексной механизации и автоматизации технологического процесса. Непрерывная навивка и натяжение проволоки производятся на нескольких типах машин: с поворотным столом-платформой, с поворотной траверсой, с продольно-поперечным перемещением каретки и неподвижным поддоном (контуром), с возвратно-поступательным движением каретки и вращающимся сердечником или контуром. Основными узлами каждой из этих машин являются: узел для размотки бухт и подачи проволоки с заданным натяжением; узел для перемещения поддона или подающего ролика; узел укладки проволоки на штыри или на сердечник по заданной схеме.

На рис. 11.6 представлена схема машины ДН-7 с продольно-поперечным движением каретки для непрерывной навивки проволоки арматуры при стендовом изготовлении напряженно-армированных конструкций. Навивка арматуры производится при возвратно-поступательном движении навивочной машины ДН-7, перемещающейся по рельсовым путям стенда вдоль линии формирования со скоростью 30...40 м/мин, и возвратно-поступательном перемещении в поперечном направлении к оси стенда примерно с такой же скоростью каретки со шпинделем. Шпиндель заканчивается пинолью, через которую проволока выдается на стенд. Анкеровка натянутой проволоки производится на штырях, уста-

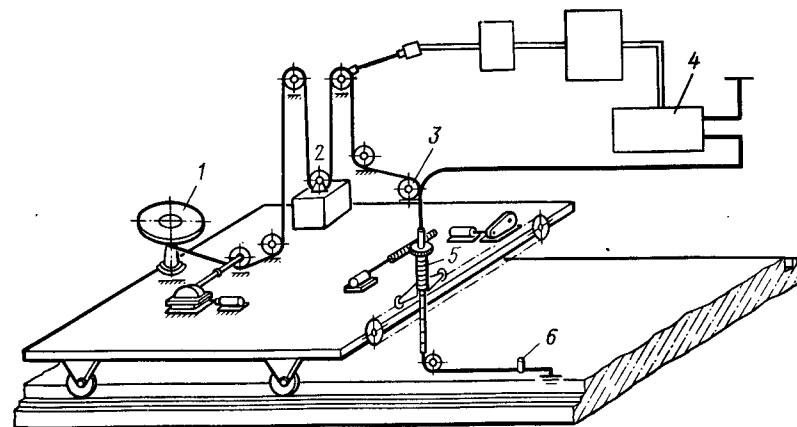


Рис. 11.6. Схема машины ДН-7 для электротермомеханического натяжения: 1 — бухтодержатель с проволокой; 2 — натяжная станция; 3 — роликовый контакт; 4 — трансформатор с блоком усилителей тока; 5 — пиноль; 6 — штырь на стенде

новленных по периметру стенда (вне зоны бетонирования). В навивочных машинах от усилий натяжения имеют место частые обрывы проволоки. Для предупреждения этого на определенном участке прохождения проволока нагревается электрическим током, для чего машина снабжается трансформатором. При этом не только предупреждается обрыв проволоки, но и уменьшается работа по натяжению арматуры.

§ 11.3. Формование железобетонных изделий

● **Задача технологического комплекса формования изделий состоит в получении плотных изделий заданных формы и размеров, что обеспечивается применением соответствующих форм, а их высокая плотность достигается уплотнением бетонной смеси.** Комплекс технологических операций процесса формования может быть условно разделен на две группы: первая включает операции по изготовлению и подготовке форм (очистке, смазке, сборке), вторая — уплотнение бетона изделий и получение их заданной формы. Не менее важны при этом и транспортные операции, стоимость которых в общих затратах может достигать 10...15%, а в отдельных случаях технико-экономический анализ возникающих при данной технологической схеме формования транспортных операций определяет организацию технологического процесса в целом. Наиболее характерным в данном случае является изготовление крупноразмерных особо тяжелых изделий — балок, ферм, пролетных строений мостов, когда по причине значительных затрат на их перемещение изготовление таких изделий организуют на одном месте, т. е. применяют стандовую схему организации процесса.

В общем технологическом комплексе изготовления железобетонных изделий операции формования и ускоренного твердения бетона занимают определяющее место. Все другие операции — приготовление бетонной смеси, изготовление арматуры — являются в какой-то степени подготовительными.

● **Формы и смазочные материалы для них.** Для изготовления железобетонных изделий применяют формы деревянные, стальные и железобетонные, а иногда металложелезобетонные. Следует отметить, что вопрос выбора материала форм весьма принципиален как в техническом, так и в экономическом отношениях. Потребность в формах завода сборного железобетона огромна. Объем форм на большинстве заводов должен быть не менее объема выпускаемых заводом изделий в течение суток при искусственном твердении и в 5...7 раз больше при естественном их вызревании. В ряде случаев потребность в формах определяет общую металлоемкость производства (массу единицы металла к единице выпускаемой продукции), существенно влияющую на технико-экономические показатели предприятия в целом. При этом следует иметь в виду также, что формы работают в наиболее тяжелых технологических условиях; они системати-

чески подвергаются сборке и разборке, очистке приставшего к ним бетона, динамическим нагрузкам при уплотнении бетонной смеси и транспортировании, действию паровой среды в период отвердения изделий. Все это неизбежно отражается на продолжительности их службы и требует систематического пополнения парка форм.

Если иметь в виду единовременные затраты на организацию завода железобетонных изделий, то деревянные формы оказываются наиболее целесообразными. Однако срок службы их и качество изделий, получаемых в таких формах, невысоки. Оборачиваемость деревянных форм в производстве не превышает десяти, после чего формы теряют необходимую жесткость, нарушаются их размеры и конфигурация формовой емкости. Металлические формы выдерживают до 1000 оборотов.

Металлические формы наиболее характерны для специализированных предприятий сборного железобетона. Долговечность, сохранность размеров, простота сборки и разборки, высокая жесткость, исключающая деформацию изделий в процессе изготовления и транспортирования, — вот те достоинства металлических форм, определившие их широкое применение. Недостатки металлических форм заключаются в том, что они существенно повышают металлоемкость предприятия, ухудшая этим технико-экономические показатели проекта.

Удельная металлоемкость форм зависит от вида формируемых в них изделий и схемы организации процесса формования. Наименьшая металлоемкость при стандовом способе; она составляет 300...500 кг металла форм на каждый 1 м³ объема изделия. При изготовлении изделий в перемещаемых формах по поточно-агрегатной технологии металлоемкость достигает в среднем 1000 кг/м³ для плоских изделий (панелей, настилов), 2000...3000 кг/м³ для изделий сложного профиля (лестничных маршей и площадок, балок и прогонов таврового сечения, ребристых панелей). Наибольшей металлоемкостью форм отличается организация процесса формования по конвейерной схеме, при которой изделия формируются на вагонетках-поддонах. Металлоемкость форм в этом случае достигает 7...8 т металла на каждый 1 м³ формируемого в них изделия, т. е. масса формы в 3 раза и более превышает массу изделия в форме. Этот технико-экономический показатель является важной характеристикой при проектировании заводов с конвейерной технологией.

Металложелезобетонные формы, мало еще распространенные, занимают промежуточные технико-экономические показатели: первоначальные затраты на их изготовление оказываются не ниже, чем металлических, но они отличаются в 1,5...2 раза большей массой, что сказывается на транспортных расходах. Достоинство металложелезобетонных форм заключается в том, что они позволяют сократить в 2...3 раза затраты металла на изготовление формы. Металл в этом случае расходуется только на бортовую оснастку формы, тогда как поддон, отличающийся наи-

большей металлоемкостью (он должен иметь высокую жесткость), изготавливается железобетонным.

Независимо от материала к формам предъявляются следующие общие требования: обеспечение необходимых форм и размеров изделий и сохранность их в процессе всех технологических операций; минимальная масса по отношению к единице массы изделия, что достигается рациональной конструкцией форм; простота и минимальная трудоемкость сборки и разборки форм; высокая жесткость и способность сохранить свою форму и размеры при динамических нагрузках, неизбежно возникающих при транспортировании, распалубке изделий и сборке форм.

Особую значимость для качества изделий и сохранности форм имеет правильный выбор смазочных материалов, препятствующих сцеплению бетона с материалом формы. Смазка должна хорошо удерживаться на поверхности формы в процессе всех технологических операций, обеспечивать возможность ее механизированного нанесения (распылением), полностью исключать сцепление бетона изделия с формой и не должна портить внешнего вида изделия. Этим требованиям в значительной степени удовлетворяют смазочные материалы следующих составов: масляные эмульсии с добавкой кальцинированной соды; масляные смазки — смесь солярового (75%) и веретенного (25%) масел или машинного масла (50%) и керосина (50%) и др.

● **Особенности формования и изготовления изделий различными способами.** Формование изделий при *стендовом способе*, т. е. в перемещаемых формах, осуществляется на плоских стендах, в матрицах и кассетах. Плоский стенд представляет собой бетонную гладкую отшлифованную площадку, разделенную на отдельные формовочные линии. В тело бетона закладывают отопительные приборы в виде труб, по которым пропускают пар, горячую воду или в них располагают электроспираль. Перед формованием на стенде собирают переносные формы, в которые после их смазки укладывают арматуру и подают бетонную смесь посредством бетоноукладчика, перемещающегося по рельсам над каждой линией. По способу организации работы плоские стенды делят на протяжные, пакетные и короткие.

Протяжные стенды получили такое название потому, что стальная проволока, сматываемая с бухт, расположенных в торце стенда, с помощью крана или специальной тележки протягивается по линии формования к противоположному торцу стенда, где закрепляется на упорах (рис. 11.7). Эти стенды используют для изготовления длинномерных изделий с большим поперечным сечением, имеющих большую высоту, а также для изготовления изделий, армированных стержневой арматурой. В настоящее время наиболее механизированным является стенд типа ГСИ (6242), расположенный в неглубоком лотке. Изготовление изделий на этом стенде осуществляется следующим образом. Бухты с проволокой располагают в створе формируемых изделий, а концы проволоки с помощью клиньев закрепляют в захватах, установ-

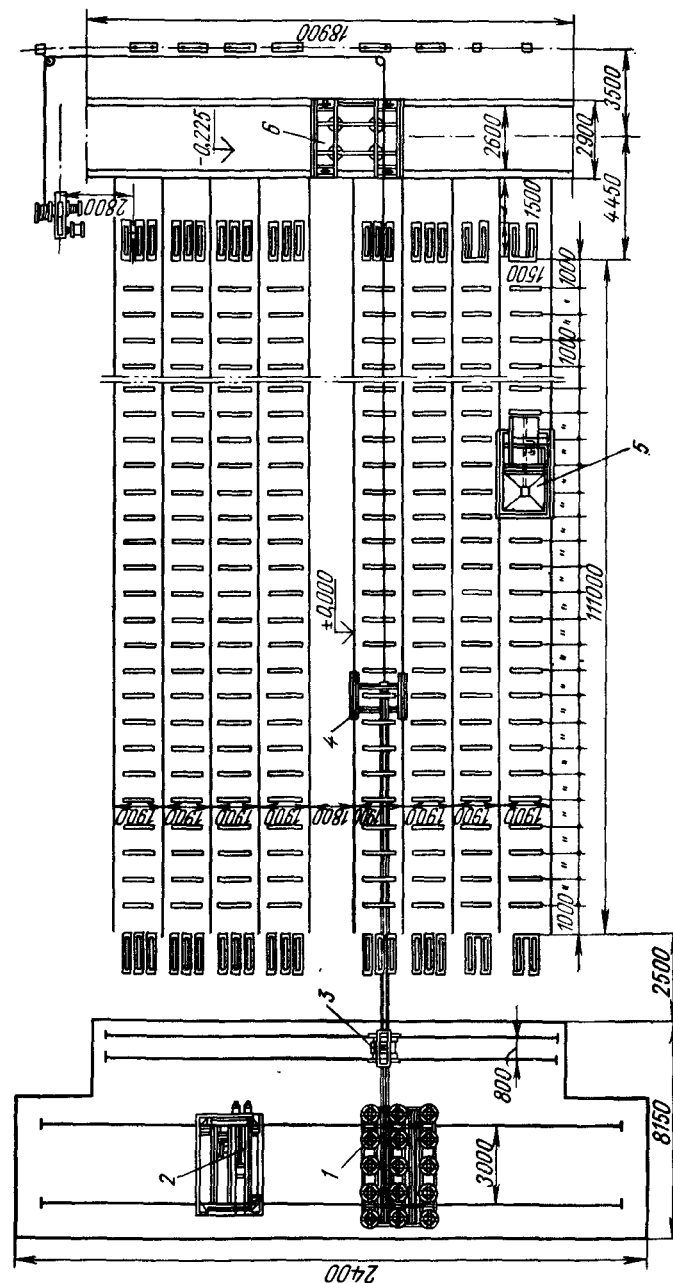


Рис. 11.7. Протяжной стенд для изготовления предварительно напряженных струнбетонных балок:

1 — бухтодержатель с проволокой; 2 — установка для натяжения арматуры; 3 — установка для натяжения арматуры; 4 — тележка для передачи арматуры; 5 — бетоноукладчик; 6 — траверсная тележка

ленных на специальных тележках. Затем с помощью крана или лебедки, установленной на противоположном конце стенда, тележка перемещается, увлекая за собой разматывающуюся с бухт проволоку. В конце стенда захват вместе с арматурными проволоками снимают и закрепляют на упорах.

Натяжение арматуры (2...10 проволок одновременно) осуществляют с помощью домкратов, после этого производят укладку и уплотнение бетонной смеси. Способ уплотнения выбирают в зависимости от вида формируемых изделий — поверхностными, глубинными и навесными вибраторами. После уплотнения бетонной смеси изделие укрывают, подают пар и производят тепловлажностную обработку по заданному режиму.

Пакетные стенды (рис. 11.8) отличаются от протяжных тем, что проволоочная арматура собирается в пакеты (пучки) на специальных пакетных столах или установках. Далее концы проволок закрепляют с помощью специальных зажимов, пакет переносят на линию стенда и закрепляют на упорах. Дальнейшие операции изготовления изделий на пакетных стендах оказываются теми же, что и на протяжных стендах. Пакетные стенды используют для изготовления изделий с небольшим поперечным сечением, а также для изделий, изготовляемых из отдельных элементов с последующим натяжением арматуры на затвердевший бетон.

Короткий стенд состоит из отдельных стационарных формовочных постов в виде силовых форм (рис. 11.9), предназначенных для изготовления предварительно напряженных железобетонных ферм, балок и других конструкций для промышленного строительства. Короткие стенды могут быть одноярусными, когда формование изделий осуществляется по высоте в один ряд, и многоярусными (пакетными), когда формование изделий осуществляется в несколько рядов по высоте. Вся технология изготовления изделий: подготовка стенда, натяжение арматуры, укладка и уплотнение бетонной смеси, тепловлажностная обработка и, наконец, распалубка изделий — осуществляется теми же методами, что и при изготовлении изделий на длинных стендах. Однако преимуществом короткого пакетного стенда по сравнению с длинным является более полное использование производственной площадки цеха.

При *кассетном способе* формование и твердение изделий осуществляются в неподвижной вертикальной форме-кассете (рис. 11.10). Кассета представляет собой ряд отсеков, образованных стальными или железобетонными вертикальными стенками. В каждом отсеке формируется одно изделие. Таким образом, количество изделий, одновременно формируемых в кассете, соответствует числу отсеков. Это существенно повышает производительность труда, а изготовление изделий в вертикальном положении резко сокращает производственные площади, что является важнейшим преимуществом кассетного способа. Бетонную смесь подают к кассетной установке насосом по бетоноводу, а затем

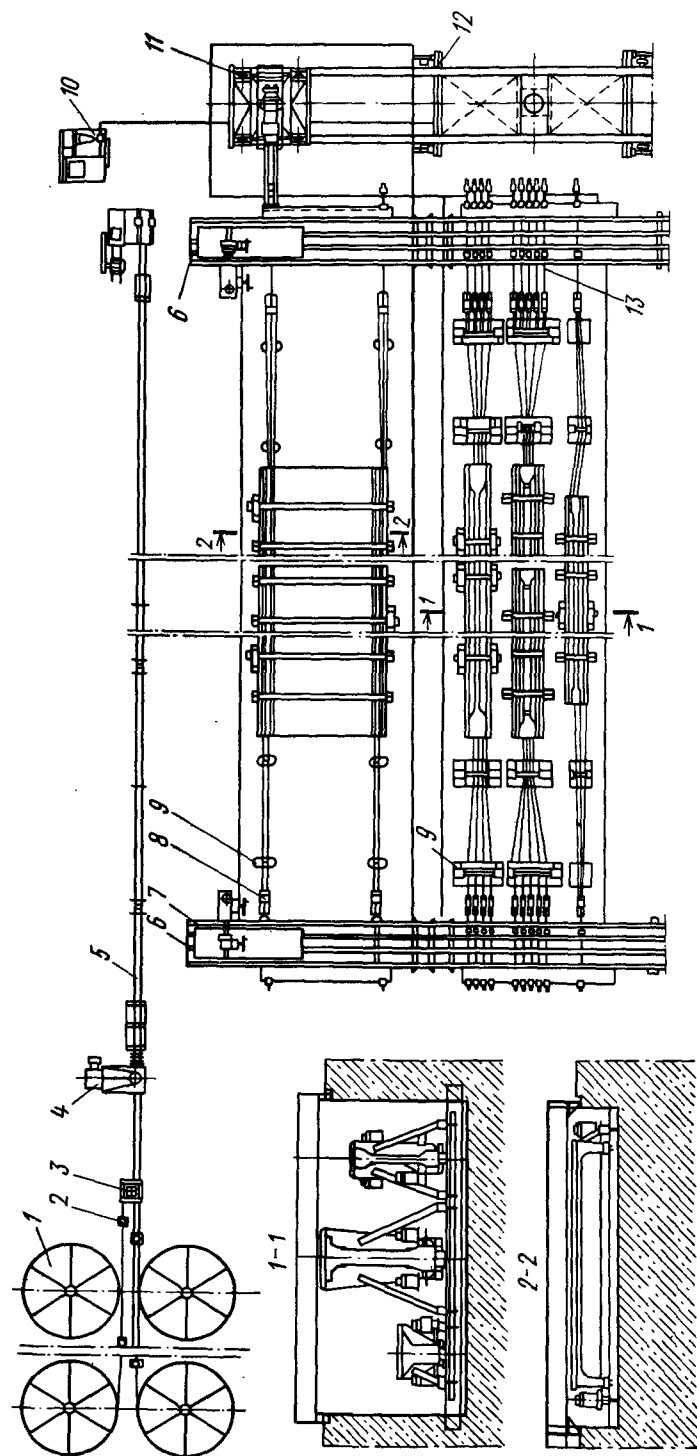


Рис. 11.8. Пакетный стенд типа 6248:

1 — бухтодержатель; 2 — направляющий ролик; 3 — гидравлический пресс; 4 — торсионное устройство; 5 — конвейер протягивания; 6 — тележка для транспортирования пакетов; 7 — упорные конструкции стенда; 8 — натяжные устройства (захваты); 9 — распределительная диафрагма; 10 — насосная станция; 11 — натяжная машина; 12 — натягаемая арматура; 13 — формы с изделиями

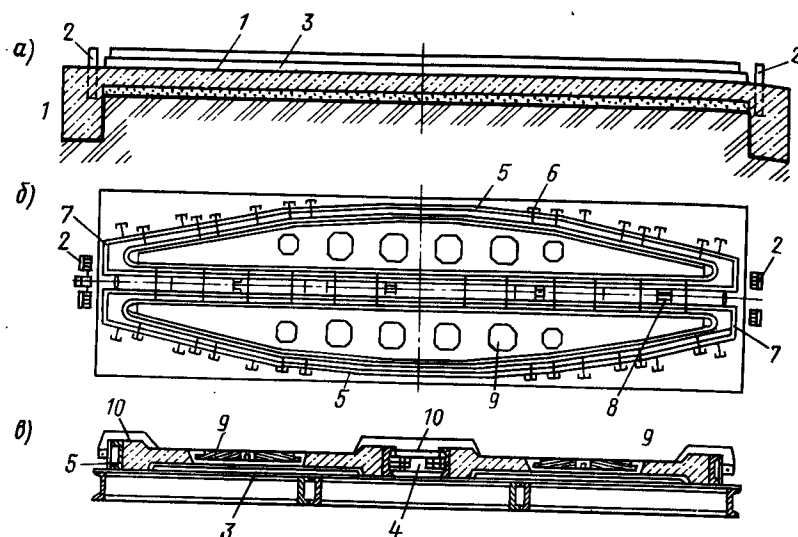


Рис. 11.9. Стендовая силовая форма для изготовления железобетонных балок длиной 18 м:

а — разрез по основанию стенда; б — план; в — поперечный разрез; 1 — железобетонный стенд; 2 — торцовые упоры; 3 — поддон с коробами для образования проемов в полке балок; 4 — разделительный съемный вкладыш между двумя балками; 5 — бортовая опалубка; 6 — винты для передвижения и раскрепления бортов; 7 — торцовые борты формы; 8 — стенд для электронагрева арматурных стержней; 9 — вкладыши для образования проемов; 10 — шарнирные съемные рамки (ваймы)

через гаситель по гибкому шлангу в отсек, в который заранее укладывают арматуру. Уплотнение смеси производят навесными и глубинными вибраторами. Кассета имеет специальные паровые рубашки для обогрева изделий в период их тепловлажностной обработки. Для этой цели можно использовать и отдельные отсеки. Применяют также электропрогрев изделий. По достижении бетоном заданной прочности стенки отсеков кассеты несколько раздвигаются механизмом и изделие краном извлекается из кассеты.

При поточно-агрегатном способе укладку арматуры и бетонной смеси в форму и уплотнение смеси производят на одном технологическом посту, а твердение изделий — в специальных тепловых аппаратах (пропарочных камерах или автоклавах). При этом способе общий технологический процесс расчленяется по операциям (рис. 11.11). Собранную смазанную форму с уложенной в нее арматурой устанавливают на виброплощадку, бетоноукладчиком заполняют бетонную смесь и включают виброплощадку. Отформованное изделие вместе с формой краном переносят в пропарочную камеру, а затем, после осмотра ОТК, на тележке вывозят на склад. Бетонная смесь из бетономесительного отделения к бетоноукладчикам поступает по эстакаде. На каждой линии, обозначенной на рисунке римскими цифрами, дополни-

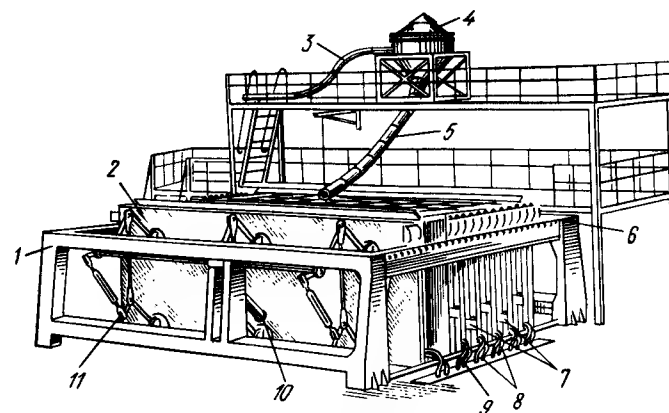


Рис. 11.10. Кассетно-формовочная машина:

1 — рама; 2 — упоры для обжатия кассеты; 3 — бетонопровод; 4 — гаситель (циклон) для бетонной смеси; 5 — гибкий шланг для загрузки смеси в формы; 6 — роликовые опоры разделительных стенок; 7 — навесные вибраторы; 8 — вертикальные разделительные стенки кассеты; 9 — подводка пара в тепловые отсеки; 10 — гидроцилиндр для привода с распорных рычагов; 11 — рычажная система для сборки и разборки кассет

тельно предусмотрены посты отделки изделий, укладки арматуры, распалубки форм, их очистки и смазки. Отдельные посты могут быть объединены, а пост отделки изделий перенесен к месту распалубки.

Конвейерный способ отличается от поточно-агрегатного большей расчлененностью технологических операций по отдельным специализированным постам. Всего таких постов на конвейерной линии до девяти: распалубка изделий, чистка и смазка форм, осмотр форм, укладка арматуры и закладных деталей, укладка бетонной смеси, уплотнение ее, выдержка изделий перед тепловлажностной обработкой (рис. 11.12). Формование изделий при конвейерном способе производят на вагонетках-поддонах, оснащенных специальной оснасткой, образующей стенки формы. Размер поддона $7 \times 4,5$ м, что позволяет одновременно формовать одно изделие площадью $6,8 \times 4,4$ м или несколько изделий равновеликой площади путем установки на поддоне разделительных деталей.

В процессе выполнения операций формовочного комплекса вагонетка посредством толкателя ритмично, через каждые 12...15 мин, перемещается от поста к посту по специально проложенным путям. Сформованное изделие подвергается затем пропариванию в камере непрерывного действия, имеющей несколько ярусов по высоте. Подъем изделий с формой на верхние ярусы и спуск их после окончания тепловлажностной обработки осуществляются специальными подъемниками-снижателями, установленными со стороны загрузки и разгрузки камер.

Управление перемещением вагонеток производится оператором дистанционно с пульта управления. При этом способе преду-

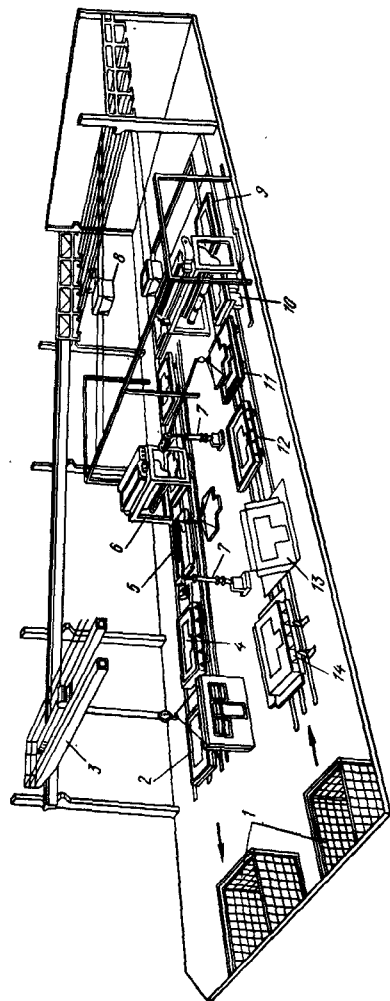


Рис. 11.11. Схема агрегатно-поточного способа производства железобетонных изделий: 1 — ямные пропарочные камеры; 2 — технический контроль, строповка формы для отправки в пропарочную камеру; 3 — мостовой кран; 4 — доводка и комплектация панели; 5 — обнажение фактуры цветного раствора; 6 — нанесение декоративного слоя; 7 — кран-укосина с прижимным щитом; 8 — са- траневую тележку для раздачи бетонной и растворной смесей; 9 — передаточная тележка с панелью на трассе; 10 — заполнение формы легким бетоном и уплотнение на виброплощадке с пригрузом; 11 — прижимной щит; 12 — чистка и смазка формы; 13 — съем прижимного щита и установка панели; 14 — раскрытие бортов формы с пропарочной панелью

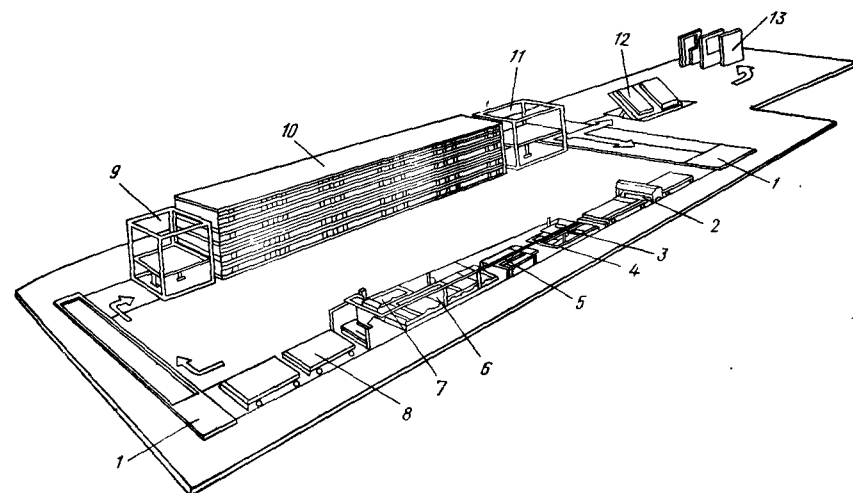


Рис. 11.12. Схема конвейерного способа производства панелей наружных стен: 1 — передаточная тележка; 2 — чистка и смазка форм; 3 — укладка фактурного слоя; 4 — укладка арматурного каркаса, закладных деталей и стальных балок; 5 — вибронасадка; 6 — вибрирование с пригрузом; 7 — укладка бетона; 8 — технический контроль; 9 — подъемник многоярусных камер пропаривания; 10 — камеры теплообработки; 11 — снижатель; 12 — кайтователь; 13 — отделение комплектации

считывается дистанционное выполнение и управление большинства операций формования. С этой целью производится максимальное членение процесса формования на отдельные операции с организацией соответствующих специализированных постов, что является необходимым фактором автоматизации производства.

В настоящее время изготовление железобетонных плит перекрытий и панелей внутренних стен, включая предварительно напряженных из тяжелого бетона для жилищного и гражданского строительства, ведут на *двухъярусных станах*. Двухъярусный стан работает по принципу вертикально замкнутого конвейера тележечного типа с формами-вагонетками, перемещаемыми по рельсовым путям верхнего и нижнего ярусов. Передвижение состава вагонеток пульсирующее. Стан состоит из подъемника-снижателя бетоноукладчика, вибронасадки, разравнивающей рейки, заглубляющего валика, затирочной машины, устройства для перемещения форм-вагонеток и щелевой камеры для тепло-влажностной обработки.

Технологический процесс изготовления изделий на двухъярусном стане складывается из следующих основных операций. Подъемник, расположенный в конце конвейера, подает форму-вагонетку с нижнего (заглубленного) яруса на верхний, толкатель передвигает ее на первый пост, где мостовой кран извлекает изделие из формы. Освободившуюся форму подают на пост чистки и смазки. На следующих постах укладывают обычную или пред-

варительно напряженную арматуру (на поддоне установлены упоры для восприятия натяжения рабочей арматуры), фиксируют закладные детали, монтируют скрытую электропроводку и внутренние трубопроводы, замоноличиваемые в тело панели. Подготовленная форма поступает в зону формования вдоль стана, где на своем пути встречает бетоноукладчик, который, перемещаясь перпендикулярно направлению движения формы, подает бетон в форму через отверстие вибронасадки по всей ширине формы, уплотняет ее и заглаживает специальными приспособлениями (рейками, валиками и дисковой затирочной машиной).

После частичной тепловлажностной обработки на верхнем ярусе изделие с формой-вагонеткой поступает с помощью снижателя в нижний ярус стана, где происходит тепловлажностная обработка и остывание панели.

§ 11.4. Твердение железобетонных изделий

● **Твердение отформованных изделий** — заключительная операция технологии изготовления железобетона, в процессе которой изделия приобретают требуемую прочность. Отпускная прочность может быть равна классу бетона или меньше его. Так, прочность бетона изделий при отгрузке потребителю должна быть не менее 70% проектной (28-суточной) прочности для изделий из бетона на портландцементе или его разновидностях и 100% — для изделий из силикатного (известково-песчаного) или ячеистого бетона. Однако для железнодорожных шпал отпускная прочность должна превышать 70% и для пролетных строений мостов — 80% от класса. Допускаемое снижение отпускной прочности изделий определяется исключительно экономическими соображениями, так как в этом случае сокращается продолжительность производственного цикла и соответственно ускоряется оборачиваемость оборотных средств. При этом имеется в виду, что недостающую до проектной прочность изделия наберут в процессе их транспортирования и монтажа и к моменту загрузки эксплуатационной нагрузкой прочность их будет не ниже проектной.

В зависимости от температуры среды различают следующие три принципиально отличающихся режима твердения изделий: нормальный при температуре 15...20°C; тепловлажностная обработка при температуре до 100°C и нормальном давлении; автоклавная обработка — пропаривание при повышенном давлении (0,8...1,5 МПа) и температуре 174...200°C. Независимо от режима твердения относительная влажность среды должна быть близкой к 100%. Иначе будет происходить высушивание изделий, что приведет к замедлению или прекращению роста их прочности, так как твердение бетона есть в первую очередь гидратация цемента, т. е. взаимодействие цемента с водой.

Нормальные условия твердения достигаются в естественных условиях без затрат тепла. Это важнейшее технико-экономическое преимущество указанного способа твердения, отличающе-

гося простотой в организации и минимальными капитальными затратами. В то же время экономически оправдан он может быть только в исключительных случаях. В естественных условиях изделия достигают отпускной 70%-ной прочности в течение 7...10 сут, тогда как при искусственном твердении — пропаривании или автоклавной обработке — эта прочность достигается за 10...16 ч. Соответственно при этом снижается потребность в производственных площадях, объеме парка форм, сокращается продолжительность оборачиваемости средств. Это и является причиной применения на большинстве заводов искусственного твердения. В то же время стремление отказаться от последнего является актуальной проблемой современной технологии бетона. Уже имеются бетоны, которые в течение одних суток при нормальных условиях твердения приобретают до 40...50% проектной прочности. Это достигается применением высокопрочных быстротвердеющих цементов, жестких бетонных смесей, интенсивного уплотнения вибрацией с дополнительным пригрузом, применением добавок — суперпластификаторов, ускорителей твердения, виброактивизации бетонной смеси перед формованием, применением горячих бетонных смесей. Дальнейшее развитие работ в этом направлении позволит, по-видимому, в ближайшие годы отказаться в ряде случаев от искусственного твердения.

Тепловлажностная обработка при нормальном давлении может осуществляться несколькими способами: пропариванием в камерах; электроподогревом; контактным обогревом; обогревом лучистой энергией; тепловой обработкой изделий в газозвдушной среде; горячим формованием. Среди приведенного разнообразия технико-экономическое преимущество пока остается за пропариванием в камерах периодического и непрерывного действия, а также в среде продуктов сгорания природного газа.

В камеры непрерывного действия загружают свежесформованные изделия на вагонетках, а с противоположного конца туннеля камеры непрерывно выходят вагонетки с отвердевшими изделиями. В процессе твердения изделия проходят зоны подогрева, изотермического прогрева (с постоянной максимальной температурой пропаривания) и охлаждения. В принципе камеры непрерывного действия, как и вообще всякое непрерывно действующее оборудование, обеспечивают наиболее высокий съем продукции с единицы объема камеры. Однако необходимость применения вагонеток и механизмов для перемещения изделий, а также ряд конструктивных сложностей туннельных камер в теплотехническом отношении не позволяет широко применять этот вид пропарочных камер. Используют их только при конвейерном способе производства.

Перспективными являются вертикальные камеры непрерывного действия.

Среди камер периодического действия основное применение находят камеры ямного типа (рис. 11.13), имеющие глубину 2 м и на 0,5...0,7 м выступающие над уровнем пола цеха. Размер

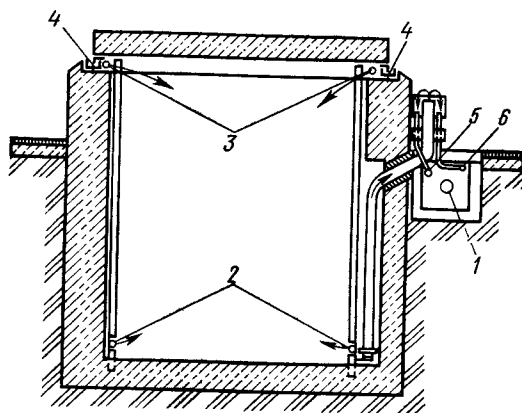


Рис. 11.13. Пропарочная камера:
1 — паропровод из котельной; 2, 3 — нижняя и верхняя перфорированные трубы подводки пара; 4 — замок; 5 — трубопровод подогретой воды; 6 — конденсатор

меры в плане, соответствующий размеру двух изделий. Стенки камеры выкладываются из кирпича или делаются бетонными. Сверху камера закрывается массивной крышкой с теплоизоляционным слоем, предупреждающим потери тепла. Для предупреждения выбивания пара в стенках камеры сверху ее предусматривается канавка, засыпаемая песком или заливаемая водой. В эту канавку входят соответствующие выступы на крышке камеры. Таким образом создается затвор, препятствующий выбиванию пара из камеры.

Изделия загружаются в камеру краном в несколько рядов по высоте. Если изделия в формах, то каждый верхний ряд изделий устанавливают на стенки нижележащей формы (через деревянные прокладки). При формировании же изделий с частичной немедленной распалубкой поддон с изделием устанавливают на специальные откидывающиеся выступы, предусмотренные в стенках камеры.

Режим пропаривания в камерах характеризуется продолжительностью подъема температуры, выдержкой при максимальной температуре, продолжительностью охлаждения, а также наибольшей температурой в период изотермического прогрева. Применяют самые разнообразные режимы твердения в зависимости от свойств цемента и его вида, свойств бетонной смеси (жесткая или подвижная), вида бетона (тяжелый или легкий), размеров изделий (тонкие или массивные).

В качестве усредненного можно привести следующий режим: подъем температуры со скоростью $25...35^{\circ}\text{C}/\text{ч}$, снижение температуры — $30...40^{\circ}\text{C}/\text{ч}$, изотермическая выдержка $6...8$ ч и максимальная температура $80...90^{\circ}\text{C}$. Таким образом, общая продолжительность пропаривания для изделий на обыкновенном порт-

камеры в плане соответствует размеру изделий или кратен им. Наиболее целесообразным является размер камеры, соответствующий размеру одного изделия в плане. В этом случае загрузочная емкость камеры и производительный простой камеры под загрузкой будут минимальными. Однако при этом возрастает потребность в количестве камер. Технико-экономический анализ показал, что наиболее целесообразным оказывается размер ка-

ландцементе в среднем составляет $12...15$ ч. Твердение изделий — наиболее продолжительная операция, в десятки раз превышающая все другие. Это требует изыскания путей снижения продолжительности пропаривания, для чего необходимо знать определяющие факторы.

В первую очередь на режим твердения оказывает влияние вид цемента. Применение быстротвердеющих цементов (алитовых и алитоалюминатных портландцементов) позволяет до 2 раз сократить продолжительность изотермической выдержки. Кроме того, оптимальная температура прогрева изделий на этих цементах $70...80^{\circ}\text{C}$ существенно сокращает время, потребное на нагрев и охлаждение изделий. В совокупности общая продолжительность тепловлажностной обработки изделий на алитовых и алитоалюминатных, быстротвердеющих портландцементах снижается до $6...8$ ч. За этот период получают изделия с прочностью бетона, равной $70...80\%$ от проектной.

Медленнотвердеющие цементы (пуццолановые и шлакопортландцементы) требуют более продолжительной изотермической выдержки (до $10...14$ ч) и более высокой температуры изотермического прогрева (до $95...100^{\circ}\text{C}$). Таким образом, общая продолжительность пропаривания бетонных изделий, приготовленных на пуццолановых или шлакопортландцементах, составляет $16...20$ ч.

Применение жестких бетонных смесей, имеющих низкое начальное водосодержание, позволяет на $15...20\%$ уменьшить продолжительность пропаривания. Если учесть, что дополнительные затраты энергии и труда на формирование жестких смесей не превышают $10...15\%$ и компенсируются снижением расхода цемента при этом, то экономическая целесообразность применения жестких смесей становится очевидной и в данном случае.

Изделия из легких бетонов, как, например, медленно прогревающиеся в силу их повышенных теплоизоляционных качеств, требуют и более продолжительного режима тепловлажностной обработки.

Способ формирования предварительно подогретой до $75...85^{\circ}\text{C}$ бетонной смеси получил название «горячего формирования», при котором изделия поступают в камеру в подогретом виде и не требуют, таким образом, времени на их подогрев до максимальной температуры пропаривания. Этот способ предусматривает отказ от пропаривания. Свежесформованные горячие изделия укрывают (способ термоса) и оставляют на $4...6$ ч, в течение которых бетон набирает необходимую прочность. Подогрев бетонной смеси производят электрическим током в течение $8...12$ мин.

Электропрогрев изделий по своим техническим свойствам и санитарно-гигиеническим условиям производства имеет несравнимое преимущество перед всеми другими способами. Тормозят его развитие недостаток и все еще высокая стоимость электроэнергии. Расход электроэнергии при электротермической обра-

ботке бетона в среднем составляет 80...100 кВт·ч на 1 м³ изделий. Электропрогрев изделий достигается путем прохождения переменного тока через бетон. Последний, обладая электрическим сопротивлением большим, чем подводящие к нему ток электроды, разогревается в результате преобразования электрической энергии в тепловую.

Количество тепла (кДж), выделяющегося в бетоне при прохождении через него электрического тока, в соответствии с законом Джоуля — Ленца прямо пропорционально затраченной электроэнергии в единицу времени (времени прохождения тока) и тепловому эквиваленту работы:

$$Q = 377 I^2 R t,$$

где I — сила тока, А; R — сопротивление бетона, Ом; t — время, ч.

Так как произведение IR равно напряжению U , а произведение Ut характеризует электрическую мощность P (Вт), то количество тепла (кДж), выделяемого при прохождении тока через бетон,

$$Q = 3,8 P t,$$

т. е. 1 Вт·ч электроэнергии выделяет 3,8 кДж тепла.

Электропрогреву в открытых формах подвергают изделия массивные, так как тонкостенные изделия при этом способе могут пересыхать, поэтому их целесообразно прогревать электрическим током в кассетах. Напряжение тока в начале электропрогрева принимают равным 65...90 В, а в конце — до 150...220 В. По мере отвердения электропроводность бетона понижается и для прохождения через него электрического тока требуется большое напряжение.

Контактный обогрев изделий достигается путем непосредственного их контакта с нагревательными приборами, например обогреваемыми стенками формы, основанием стенда. При этом изделие плотно укрывают, чтобы предупредить потери испаряющейся из него влаги в окружающую среду. Необходимая влажность вокруг изделия достигается за счет избыточной воды, т. е. сверх потребной на твердение цемента, которая вводится для получения удобоукладываемой смеси.

В качестве теплоносителя применяют острый пар, горячую воду, нагретое масло. Наиболее эффективно использование контактного обогрева тонкостенных изделий при достаточной их герметизации. Это наблюдается, например, в кассетах, в которых изделие заключено в узких, но глубоких отсеках. В этом случае возможен очень быстрый подъем температуры до максимальной (за 15...30 мин) без нарушения структуры бетона. Кроме того, образуется насыщенная паровая среда с несколько большим, чем атмосферное, давление пара, что благоприятно сказывается на процессах твердения бетона.

Температурная обработка в термобассейнах применяется в том случае, когда требуется получить изделие высокой плотности и водонепроницаемости (трубы, кровельные материалы). Твердение в горячей воде — наиболее благоприятный в этом отношении режим. Предварительно отвердевшие изделия помещают в бассейн с горячей водой и выдерживают в нем до приобретения необходимой прочности. Этот способ имеет хорошие технико-экономические показатели — низкий расход тепла обеспечивает наиболее благоприятные условия твердеющему бетону, но необходимость последующей сушки изделий является причиной практического отказа от обработки изделий в термобассейнах.

Автоклавная обработка. Скорость большинства химических реакций, в том числе и взаимодействие цемента с водой, обеспечивающая твердение бетона, возрастает с повышением температуры, и тем она больше, чем выше температура. Кроме того, для твердения бетона необходима влажная среда. Сочетание этих двух факторов успешно достигается при обработке изделий паром высокого давления. С повышением давления соответственно возрастает температура насыщенного пара; при 100%-ной относительной влажности среды температуру выше 100°C получить нельзя. Сверх этой температуры относительная влажность среды будет меньше 100%, и помещенные в нее бетонные изделия начнут высыхать.

Наиболее распространенный режим автоклавной обработки: давление пара 0,8...1,5 МПа, температура насыщенного пара 170...200°C. При таком режиме получают изделия с проектной прочностью бетона в течение 8...10 ч, что дает большой технико-экономический эффект.

Важным достоинством автоклавной обработки бетона является следующее: при высокотемпературных условиях песок, будучи инертным при нормальной температуре и пропаривании, становится активным, энергично взаимодействует с известью и обеспечивает получение бетона прочностью 20 МПа и более. Это позволяет широко использовать дешевые бесцементные известково-песчаные бетоны для изготовления способом автоклавной обработки прочных, водостойких и долговечных изделий.

При использовании портландцементов обычно применяют медленно твердеющие цементы. Их преимущество в данном случае не только в несколько пониженной стоимости, но и в большом приросте прочности, получаемом при автоклавной обработке по сравнению с другими видами портландцементов. Кроме того, в автоклавных портландцементных бетонах часть цемента (до 30...40%) может быть успешно заменена молотым песком. При этом прочность бетона не только не снижается, но даже наблюдается улучшение физико-механических свойств бетона, что имеет большую технико-экономическую значимость.

Оборудование, применяемое для этой цели, не отличается от Рассмотренного в гл. 8. Основным агрегатом при автоклавной обработке является автоклав. В технологии сборного железобе-

тона автоклавы имеют ограниченное применение: существующие портландцементы обеспечивают получение изделий проектной прочности за то же время, что и в пропарочных камерах, имеющих несравнимо простое устройство и не требующих котельной высокого давления.

Широко применяются автоклавы при производстве изделий из ячеистых бетонов.

§ 11.5. Отделка поверхности железобетонных изделий

Выбор метода отделки поверхностей железобетонных изделий производят с учетом целого ряда требований. Отделка должна быть долговечной и защищать бетон от атмосферных и агрессивных воздействий, а также отвечать архитектурно-декоративным требованиям.

В настоящее время отделку поверхностей выполняют путем использования окрасочных составов, облицовочных материалов и цветных бетонов.

● **Окрасочные составы должны быть щелоче- и водостойкими, долговечными и устойчивыми против выцветания.** В качестве окрасочных составов используют силикатные, цементные и полимерные краски. Силикатные краски готовят из жидкого стекла, минеральных красящих веществ (пигментов) и наполнителей. Цементные краски готовят из белого цемента с минеральными красящими веществами, а перхлорвиниловые (полимерные) краски — из минеральных красящих веществ, разбавленных перхлорвиниловым лаком. Нанесение красок на поверхность железобетонных изделий производят с помощью пистолета-распылителя за два или три приема в зависимости от цвета используемого красящего вещества и консистенции раствора. Покраску поверхностей ведут при положительных температурах.

● **К облицовочным материалам наряду с архитектурно-декоративными требованиями предъявляются требования высокой прочности и долговечности в условиях переменных атмосферных воздействий.** В настоящее время в качестве облицовочных материалов используют плитки из природных каменных материалов, керамические, асбестоцементные, стеклянные плитки, плитки и блоки из цветного бетона, гофрированные листы из алюминия.

Плитки из природных каменных материалов — наиболее долговечный, обеспечивающий разнообразную гамму цветов материал, получаемый в результате распиловки мраморов, гранитов, лабрадоритов, кварцитов, известняков и других окрашенных горных пород.

Бетонные плитки изготовляют на специальных гидравлических прессах из цветного бетона.

Большое распространение при отделке железобетонных панелей получили керамические облицовочные плитки, обладающие высокими и декоративными свойствами, они хорошо сцепля-

ются с бетоном и отличаются индустриальностью производства. Плитки выпускают крупноразмерные (10×10, 10×20 см) и мелкоразмерные (48×48 мм). При производстве крупноразмерных железобетонных панелей облицовка из мелкоразмерной (ковровой) плитки оказывается менее трудоемкой и более производительной по сравнению с облицовкой крупноразмерной плиткой, которая укладывается поштучно вручную. На Ленинградском ДСК-2 для облицовки панелей используют стеклянную облицовочную плитку размером 2×2 см, которая наклеивается на картон заданных размеров. Для увеличения сцепления стеклянной поверхности плитки с раствором или бетоном ее тыльную поверхность покрывают кремнийорганическими составами типа ВН-30, которые обладают хорошей адгезией к стеклу. Стеклянные плитки выпускают различных цветов — от белого до черного.

В качестве облицовочных материалов для отделки железобетонных стеновых панелей используют также цветные цементные плитки и алюминиевые листы. Последние обладают высокой атмосферостойкостью, прочностью и хорошими архитектурно-декоративными свойствами.

● **Цветные бетоны получают, используя неорганические минеральные краски, обладающие высокой щелоче- и атмосферостойкостью.** Красная, желтая и коричневая окраски бетона могут быть получены путем добавления пигментов из оксидов железа, зеленая — при введении зеленого оксида или гидроксида хрома.

§ 11.6. Приемка и испытание железобетонных изделий

● **Приемка железобетонных изделий осуществляется партиями, которые состоят из однотипных изделий, изготовленных по одной технологии в течение не более 10 дней.** В зависимости от объема изделий количество их в партии устанавливают техническими условиями и не должно превышать следующих величин:

Объем изделий, м ³	До 0,1	0,1...0,3	0,3...1,0	1,0...2,0	Свыше 2,0
Изделий в партии, шт.	1000	700	300	150	100

В процессе приемки наружным осмотром проверяют внешний вид изделий, отмечают наличие трещин, раковин и других дефектов. Затем с помощью измерительных линеек и шаблонов проверяют правильность формы и габаритные размеры изделий. Если при контрольных замерах изделия будут выявлены отклонения по длине или ширине, превышающие допускаемые, то изделие бракуют.

При приемке изделий определяют и прочность бетона, которую устанавливают по результатам испытания контрольных образцов и путем испытания готовых изделий. Контрольные образцы с

ребром 10, 15 и 20 см изготавливают в металлических разъемных формах в количестве не менее 3 шт. и не реже одного раза в смену, а также для каждого нового состава бетонной смеси. Уплотнение бетонной смеси в образцах осуществляют на стандартной виброплощадке с амплитудой 0,35 мм и частотой вращения 300 кол/мин.

Образцы должны твердеть в одинаковых условиях с изделиями. Предел прочности бетона определяют путем испытания образцов на гидравлических прессах и вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытания трех образцов.

● **Испытание готовых железобетонных изделий на прочность, жесткость и трещиностойкость производят согласно ГОСТам.** Отбор изделий для испытаний производят в количестве 1 % от каждой партии, но не менее 2 шт., если в партии менее 200 изделий. Испытание производят на специальных испытательных стендах, нагружая конструкцию гидродомкратами, штучными грузами или рычажными приспособлениями. Критерием прочности служит нагрузка, при которой изделие теряет свою несущую способность (разрушается).

В последнее время для определения прочности бетона в конструкциях пользуются методами, не разрушающими изделия, — физическими и механическими. К физическим методам относятся ультразвуковые и радиометрические. Механические методы основаны на определении величины упругой или пластической деформации. В первом случае прочность бетона оценивают по величине упругого отскока бойка от поверхности бетона; во втором прочность бетона характеризуется величиной отпечатка наконечника на поверхности бетона. Приборы этой группы получили широкое применение в строительстве.

§ 11.7. Экономика производства железобетонных изделий

В последнее время выпуск сборного железобетона в СССР как основы индустриализации строительства растет особенно быстрыми темпами (табл. 11.1).

Таблица 11.1. Производство сборных железобетонных конструкций и деталей

Наименование изделий	1960 г.	1970 г.	1980 г.	1985 г.
Сборный железобетон, млн. м ³	30,2	84,6	122,2	136,6
В том числе:				
стенные панели, млн. м ³	0,95	11,6	22,7	28,1
опоры ЛЭП и связи, тыс. м ³	350	1362	1411	1495
железобетонные шпалы, тыс. м ³	122	744	916	1081
блоки и тюбинги для туннелей, шахтная крепь, тыс. м ³	182	485	603	637
трубы железобетонные, тыс. м ³	484	1185	1713	1674

Из сборных железобетонных конструкций в настоящее время изготавливают почти целиком перекрытия жилых, гражданских и промышленных зданий, более 30% стен в государственном и кооперативном жилищном строительстве, 25...30% фундаментов зданий, более 50% каркасов одно- и многоэтажных промышленных зданий.

Расход сборного железобетона на 1 млн. руб. строительно-монтажных работ в жилищном строительстве в истекшие годы быстро растет за счет увеличения удельного веса полносборных домов в общей структуре ввода жилых зданий, а также вследствие увеличения высоты сечения плит перекрытий и толщины панелей перегородок по условиям звукоизоляции, толщины панелей наружных стен в связи с ростом этажности. Существенно возрастают и общие объемы применения сборного железобетона в промышленном и жилищном строительстве.

На развитие производства сборного железобетона выделяют значительные капитальные вложения, и очень важно правильно использовать эти большие средства при проектировании новых и реконструкции действующих предприятий. Исключительно большое значение при этом имеет выбор рациональной технологической схемы производства железобетонных изделий в зависимости от мощности проектируемого завода, номенклатуры выпускаемой продукции, вида армирования, габаритов изделий и других факторов.

Анализ работы передовых предприятий показывает, что в одинаковых условиях (например, при производстве многослойных настилов перекрытий) на узкоспециализированных производственных линиях, выпускающих по одному типоразмеру изделий, стандовая, агрегатная и конвейерная технологии дают различные технико-экономические показатели (табл. 11.2).

Как видно из приведенных данных, при стандовой технологии имеют место большие затраты труда, но минимальные удельные

Таблица 11.2. Перспективы технико-экономических показателей производственных линий с различными технологическими схемами

Наименование показателей	Технологические схемы		
	стандовая	агрегатная	конвейерная
Цеховая себестоимость переработки на 1 м ³ изделий, руб.	40,6	24,1	29,6
Затраты труда рабочих на 1 м ³ годового выпуска, чел-дн (%)	0,95 (100)	0,24 (25,3)	0,11 (11,6)
Удельные капиталовложения на 1 м ³ годового выпуска (по цеху формования и пропаривания), %	100	129,2	261,0

капиталовложения. Для конвейерной технологии при меньшей трудоемкости удельные капиталовложения максимальны, а для агрегатной технологии сочетаются относительно небольшие затраты труда со сравнительно низкими удельными капитальными вложениями.

При выборе технологической схемы производства цеха формования и пропаривания необходимо учитывать номенклатуру выпускаемых изделий и объемы производства, определяемые рациональным радиусом перевозки готовой продукции.

Для мелкосерийного производства железобетонных изделий на заводах малой и средней мощности наиболее выгодным оказывается *поточно-агрегатный способ* производства. При несложном технологическом оборудовании, небольших производственных площадях и небольших затратах на строительство агрегатный способ дает возможность получить высокий съём готовой продукции с 1 м² производственной площади цеха. Этот метод позволяет также оперативно осуществлять переналадку оборудования и переходить к формованию от одного вида изделий к другому без существенных затрат. Производительность формовочного агрегата зависит от вида и размеров формируемых изделий и будет изменяться при переходе от одного вида изделий к другому. Это вызвано изменением продолжительности цикла формования изделий, который может колебаться в большом диапазоне (5...30 мин). Проточно-агрегатный способ наиболее распространен в современной технологии сборного железобетона.

По капитальным затратам преимущество остается за *стендовым способом* при формовании изделий на горизонтальных стендах. Простота оборудования, незначительная его энергоёмкость, возможность легко перейти на выпуск изделий самых разнообразных типоразмеров, минимум транспортных операций — основные достоинства этого способа организации формования. Однако при горизонтальном формовании изделий на стендах оказывается значительной потребностью в производственных площадях. Низкий уровень механизации влечет высокую трудоемкость, в 2...3 раза превышающую, например, трудоемкость изготовления изделий по поточно-агрегатной технологии. Применение маломощных переносных вибраторов возможно для уплотнения бетонной смеси с высокой подвижностью, что вызывает перерасход цемента.

Все эти факторы исключили целесообразность организации производства изделий массового выпуска (плит и панелей перекрытий, панелей и блоков стен, фундаментных блоков и плит) по стендовой технологии. Однако при небольшом среднегодовом объеме таких изделий стендовый способ может оказаться наиболее рациональным. Целесообразен он и при организации производства железобетонных изделий на временных полигонных установках.

Рациональность применения стендового способа возрастает с увеличением массы и размера изделий, перемещение которых по

отдельным технологическим постам влечет большие затраты или практически трудноосуществимо. Это относится к фермам и балкам длиной 18 м и более, пролетным строениям мостов массой до 100 т и более, аркам и другим уникальным элементам сборного железобетона значительной массы, что определяет технико-экономические преимущества стендового способа при изготовлении указанных видов изделий. Стендовую технологию наиболее широко применяют на открытых полигонах мощностью до 10...15 тыс. м³/год.

При стендовом методе производства оборудование может быть легко демонтировано и так же легко собрано на любом участке строительства. Производительность стенда зависит от продолжительности выдерживания на нем изделия. В зависимости от вида изделий время, необходимое для выдерживания изделий на стенде, колеблется от 20 ч до 5 сут.

Конвейерный метод производства железобетонных изделий позволяет добиться комплексной механизации и автоматизации технологических процессов изготовления изделий. Организация производства по конвейерному методу обеспечивает значительное повышение производительности труда и увеличение выпуска готовой продукции при наиболее полном и эффективном использовании технологического оборудования. Однако конвейерная технология требует больших капитальных вложений. Применение этого метода рационально на заводах, выпускающих в массовом порядке изделия по ограниченной номенклатуре с минимальным количеством типоразмеров.

Кассетный способ применяют при изготовлении тонких и плоских изделий значительной площади (перегородок стен, панелей перекрытий). Удельная потребность в площадях производственного цеха при кассетном способе (в вертикальном положении) самая минимальная — в одном месте одновременно формируется до 12 изделий площадью до 12 м² каждая. Отсутствие виброплощадок и камер пропаривания является важным достоинством кассетного способа. И все же он имеет весьма существенные недостатки. Эффективно уплотнить в кассете, имеющей глубокие отсеки, можно только смесь, достаточно подвижную, а это достигается при получении бетона заданной прочности с повышенным расходом цемента. Ограниченность номенклатуры — также недостаток кассетного способа. В кассетах многосекционной конструкции могут изготавливаться только плоские изделия сплошного сечения. Технологическая схема и организация формования изделий определяются многими факторами, ведущими среди которых являются производственная мощность предприятия, вид и размеры изделий, техническая возможность и экономическая целесообразность механизации и автоматизации процессов, характер применяемых бетонных смесей при том или ином способе. Правильная оценка перечисленных факторов определяет в конечном счете рациональную технологию, наиболее выгодную для конкретных условий.

Важнейшая задача развития промышленности сборного железобетона на современном этапе — это повышение уровня концентрации его производства, рост технической оснащенности предприятий. Характерно, что наряду с наличием значительного количества высокомеханизированных и рентабельных предприятий в промышленности сборного железобетона существует большая группа мелких цехов и заводов, выпускающих продукцию с большими затратами и, как правило, недостаточно высокого качества. На долю мелких предприятий со среднегодовой мощностью около 10 тыс. м³ приходится около $\frac{2}{3}$ всех предприятий и более $\frac{1}{5}$ продукции.

По данным Индустройпроекта МПСМ СССР, по учтенному кругу предприятий сборного железобетона, охватывающему более $\frac{4}{5}$ продукции отрасли, себестоимость в зависимости от мощности изменялась следующим образом. Для более крупных предприятий со среднегодовой мощностью более 100 тыс. м³ себестоимость 1 м³ изделий была на $\frac{1}{3}$ меньше, чем по мелким заводам. Концентрация и специализация производства при создании специализированных предприятий мощностью 100...150 тыс. м³ и более с узко ограниченной номенклатурой изделий на каждом заводе позволяет снизить удельные капиталовложения примерно на 20...25%, а себестоимость продукции — на 15...20% по сравнению с действующими универсальными заводами со средней мощностью 30...50 тыс. м³. Поэтому генеральной линией развития промышленности сборного железобетона является повышение уровня концентрации и специализации производства.

Использование действующих производственных мощностей в промышленности сборного железобетона недостаточно. Важными условиями лучшего использования основных производственных фондов являются ускорение освоения проектных производственных мощностей на основе опыта передовых предприятий по реализации резервов роста производства, увеличение объемов продукции с действующих мощностей на основе интенсификации производства и улучшение эксплуатации оборудования.

Необходимо всемерно улучшить использование оборудования, что является важнейшим резервом роста фондоотдачи и повышения рентабельности в промышленности. Хотя показатели работы оборудования в промышленности сборного железобетона в последние годы улучшились, здесь также имеются большие неиспользованные резервы.

Анализ данных табл. 11.3 показывает, что технологическое оборудование на ряде заводов сборного железобетона используется в 1,5...2 раза ниже норм технологического проектирования и уровня, достигнутого многими предприятиями Москвы и Ленинграда.

На предприятиях сборного железобетона оборачиваемость ямных камер в среднем однократная в сутки, а на лучших предприятиях достигнута — почти двукратная. Цикл формования

изделий составляет в среднем по СССР 20...25 мин, на передовых заводах — 9...11 мин (табл. 11.3).

Таблица 11.3. Показатели использования основного технологического оборудования промышленности сборного железобетона

Наименование показателей	Средние показатели по промышленности	Уровень, достигнутый передовыми заводами
Количество оборотов камер, об/сут	1	1,7...1,9
Продолжительность оборота кассет, ч	21,8	12...14
Цикл формования настилов на поточно-агрегатных линиях, мин	20...25	9...11

Наряду с ростом часовой производительности оборудования большие резервы заключены также в повышении коэффициента сменности и сокращении внутрисменных простоев в отраслях с прерывным производством.

Важным направлением технического прогресса в промышленности строительных материалов является применение электроэнергии на технологические цели. При производстве сборных железобетонных изделий простой формы (фундаментных блоков, колонн и балок прямоугольного сечения, однослойных стеновых панелей, плоских плит покрытий и перекрытий) экономический эффект достигается в результате электропрогрева, благодаря которому расход тепла по сравнению с пропариванием сокращается в 2...4 раза. Имеется большая возможность автоматизации процесса контроля и управления на участке тепловлажностной обработки и улучшения условий труда. Устранение необходимости в сооружении котельных, теплосетей и пропарочных камер приводит к существенной экономии капитальных затрат.

Стоимость электроэнергии для прогрева 1 м³ бетонных и железобетонных изделий ниже стоимости пара, необходимого для пропаривания этих изделий.

Таким образом, основные пути снижения себестоимости предприятий сборного железобетона — это улучшение использования производственных мощностей, внедрение новой техники и технологии, улучшение организации труда, унификация конструкций, рост уровня специализации и концентрации производства, применение высокомарочных цемента, термически упрочненных сталей, совершенствование тепловлажностной обработки изделий, налаживание работы арматурных цехов, повышение уровня комплексной механизации производства, повышение качества нерудных строительных материалов.

Большие резервы увеличения эффективности производства сборного железобетона заключены в повышении уровня его концентрации и специализации, развитии реконструкции.

Расчеты эффективности предприятий сборного железобетона для жилищного строительства в зависимости от расстояния

доставки изделий по суммарным приведенным затратам показали, что обусловленное ростом концентрации производства увеличение затрат на перевозку конструкций для крупнопанельного домостроения автотранспортом до 100 км полностью перекрывается экономией приведенных затрат на крупных предприятиях.

В связи с ростом объемов строительства и повышением плотности потребления сборного железобетона экономически обоснованная концентрация производства в ближайшей перспективе не приводит к повышению расстояния перевозки изделий и, следовательно, снижению себестоимости продукции на крупных заводах будет, как правило, способствовать дальнейшему уменьшению стоимости жилищного строительства. Массовыми типами предприятий крупнопанельного домостроения целесообразно считать заводы годовой производительностью 140 и 160 тыс. м² жилой площади в год.

Рост средней мощности предприятий сборного железобетона для промышленного строительства во многом зависит от повышения уровня унификации конструкции и роста уровня сборности в промышленном строительстве в связи с увеличением объемов применения сборного железобетона. В качестве массовых типов заводов для промышленного строительства в ближайшей перспективе приняты предприятия со среднегодовой мощностью 100 и 200 тыс. м³, причем для каждого конкретного района сочетание вновь строящихся заводов, различных по мощности, устанавливается на основе специального экономического расчета. Повышение степени концентрации производства сборного железобетона является в целом одним из важнейших условий снижения себестоимости продукции и удельных капитальных вложений.

Большие резервы роста эффективности производства заключены в повышении уровня специализации производства и сокращении количества типоразмеров изделий. По данным ЦСУ СССР, съем продукции на специализированных предприятиях с 1 м² производственных площадей равен около 20 м³ в год против 8...9 м³ в среднем по промышленности. На специализированных предприятиях себестоимость аналогичных изделий в 1,3...1,5 раза ниже среднего уровня. Удельный вес специализированного производства в 1965 г. составил около 35% от общего выпуска железобетонных изделий, в 1970 г. — около 45%, а в 1985 г. — более 62%. Согласно расчетам НИИЭС и Гипростроммаша, целесообразно уже в ближайшие годы довести удельный вес продукции специализированных предприятий и цехов промышленности сборного железобетона до 70...80% от общего объема производства, в том числе по спецжелезобетону — 100%, жилищно-гражданскому строительству — 75...80%, по промышленному строительству — 65...70% и сельскохозяйственному строительству — 55...70%.

Реальным путем повышения эффективности и снижения удельных капитальных вложений в промышленности сборного железобетона является увеличение удельного веса рациональных

типов реконструкции и расширения предприятий в достижении общего прироста мощности в ближайшей перспективе. Так, удельные капитальные вложения на полную реконструкцию и расширение предприятий составляют: по прогрессивным проектам по изделиям для промышленного строительства — 50 руб/м³ против 75...85 руб/м³; по изделиям для жилищного строительства — 43 руб/м³ против 70...77 руб/м³.

Таким образом, осуществление в целесообразных случаях реконструкции и расширения действующих предприятий обеспечивает экономию капитальных вложений по сравнению с вариантом нового строительства 38.45%. В ближайшей перспективе целесообразно определение структуры прироста мощностей за счет реконструкции и расширения предприятий как наиболее экономичных направлений использования капитальных вложений.

ГЛАВА 12

ЛЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

12.А. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

Наша страна обладает огромными запасами древесины — около 30% всей ее территории занимают леса. Особенно велики запасы древесины на Урале, в Сибири, Карельской АССР.

● **Древесина как строительный материал** обладает рядом положительных свойств: она имеет относительно высокую прочность, небольшую плотность, малую теплопроводность, легко поддается механической обработке. Вместе с тем древесина имеет и ряд недостатков: анизотропность древесины обуславливает различные показатели прочности и теплопроводности вдоль и поперек волокон; гигроскопичность приводит к изменению свойств; древесина подвержена гниению и легко воспламеняется. Современная технология обработки древесины позволяет в значительной мере снизить указанные недостатки.

В настоящее время эффективно используются и отходы древесины: из опилок и стружек наряду с фибролитовыми и кислотостойкими изделиями изготавливают с применением различных органических клеев прессованные плиты, доски и т. д. На переработку древесного сырья достигает 0,98. Кроме того, древесину используют для производства целлюлозы, этилового и бутилового спиртов, бумаги, картона, органических кислот, канифоли и других продуктов для народного хозяйства. Поэтому экономное расходование древесины в строительстве является очень важной задачей.

§ 12.1. Строение дерева

● **Дерево состоит из ствола, кроны и корней.** Корни предназначены для укрепления дерева в грунте, для всасывания влаги и растворенных в ней минеральных веществ и подачи их к стволу. Ствол удерживает крону и служит для перемещения воды и питательных веществ от корней через ветви к листьям, а от листьев обратно к корням. Строение древесины, видимое невооруженным глазом или при небольшом увеличении, называется макроструктурой, а видимое под сильным увеличением (микроскопом) — микроструктурой.

● **Макроструктуру древесины изучают по трем разрезам ствола дерева** (рис. 12.1): поперечному, радиальному продольному (по диаметру или радиусу) и тангентальному продольному (по хорде). В поперечном и радиальном разрезах ствола различают

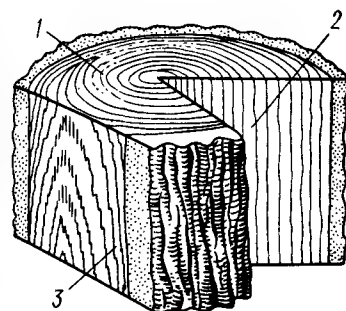


рис. 12.1. Основные разрезы ствола:
1 — торцовый; 2 — радиальный; 3 — тангентальный

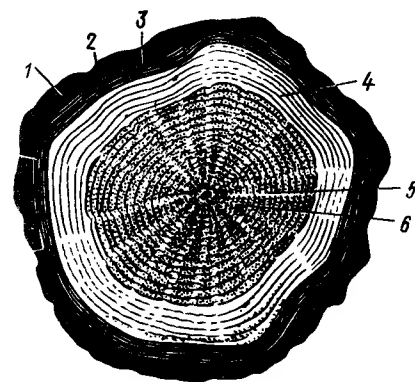


рис. 12.2. Торцовый разрез ствола:
1 — кора; 2 — луб; 3 — камбий; 4 — заболонь; 5 — ядро; 6 — сердцевина

следующие основные части (рис. 12.2): кору, луб, камбий, древесину и сердцевину.

Кора защищает дерево от механических повреждений. Она состоит из наружного слоя — корки и внутреннего луба.

Луб — тонкий внутренний слой коры, он предназначен для передачи питательных веществ из кроны дерева вниз; в нем откладываются запасы этих веществ.

Камбий — тонкий жизнедеятельный слой ткани, располагающийся за лубом. В слое камбия к центру дерева откалываются клетки древесины, а в сторону луба — лубяные клетки. Каждая клетка камбия при размножении делится на две, одна из которых, более тонкостенная, откладывается к внешней стороне ствола, другая, толстостенная, одеревеневшая клетка располагается по направлению к сердцевине. Весной камбий образует широкие клетки с тонкой оболочкой, так называемую весеннюю древесину. Во второй половине вегетационного периода, когда дерево нагружено развивающимися побегами и листьями, камбий образует толстостенные сплюснутые клетки, которые выполняют механические функции и составляют главную часть летней древесины. Образовавшиеся в течение вегетационного периода слои называют годичными. У некоторых пород, например дуба, они хорошо видны на торцовом разрезе. Находящийся за камбием толстый слой древесины состоит из ряда тонких концентрических слоев.

Древесина обычно имеет светлую окраску, но у некоторых пород непосредственно к сердцевинной трубке прилегает более темная древесина, называемая ядром или мертвой древесиной. От ядра к внешней части ствола располагается светлоокрашенная древесина — заболонь или оболонь. Древесные породы с темной центральной частью называют ядровыми (дуб, кедр, сосна), а древесные породы, у которых центральная часть имеет свойства ядра, но по цвету не отличается от периферийной

части, называют спелодревесными (ель, пихта, бук). Если у древесной породы ядро отсутствует, то ее называют заболонной (береза, клен, ольха). У растущего дерева заболонь состоит преимущественно из живых клеток.

Сердцевина расположена вдоль всего ствола в его центральной части. Она состоит из клеток с тонкими стенками. Сердцевина и образовавшиеся в первый год роста побеги образуют сердцевинную трубку. Эта часть ствола является наиболее слабой, она плохо противостоит загниванию. Питательные вещества в поперечном направлении — от коры к сердцевине — проходят по сердцевинным лучам.

В зависимости от условий роста годовые слои бывают различной ширины даже у деревьев одной и той же породы. Однако ширина годового слоя не так существенно отражается на свойствах древесины, как процентное содержание в ней поздней древесины; с его увеличением прочность древесины возрастает.

Перемещение влаги в древесине лиственных пород происходит по сосудам, расположенным вдоль ствола. В некоторых лиственных породах (дубе, ясене, вязе) имеются крупные и мелкие сосуды: крупные сосуды располагаются в ранней части годового слоя, а мелкие собраны в группы или распределены равномерно

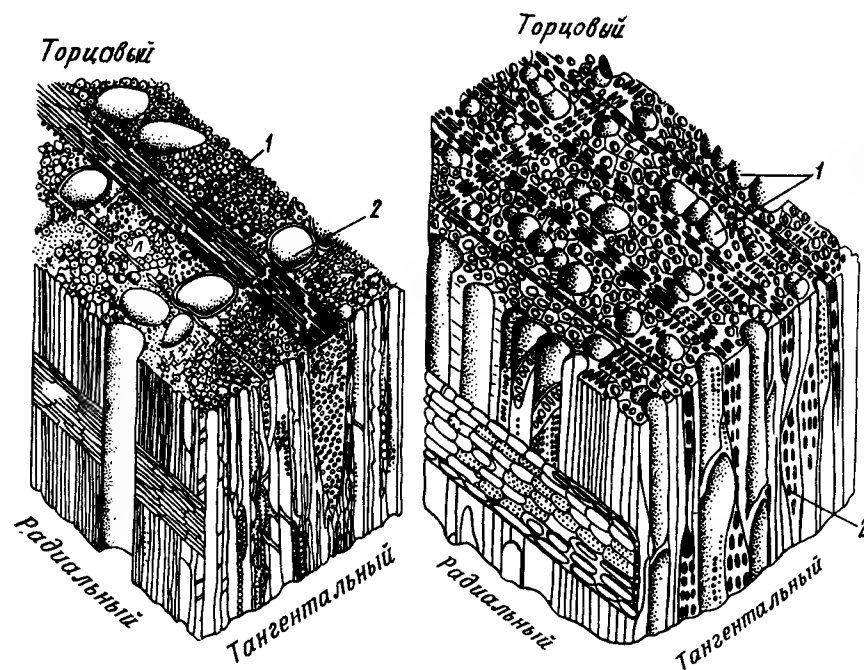


Рис. 12.3. Схема анатомического строения дуба (порода кольцесосудистая):
1 — лучи сердцевины; 2 — сосуды

Рис. 12.4. Схема анатомического строения березы (порода рассеяннососудистая):
1 — сосуды; 2 — лучи сердцевины

по всей площади поздней древесины. Такие породы называют кольцесосудистыми (рис. 12.3). В некоторых лиственных породах (березе, осине, липе) крупных сосудов нет и различия между ранней и поздней частями годового слоя не наблюдаются. Эти породы называют рассеяннососудистыми (рис. 12.4). Деревья хвойных пород сосудов не имеют, они состоят из замкнутых удлиненных клеток — трахеид (рис. 12.5). У большинства хвойных пород между трахеидами в поздней части годового слоя находятся смоляные ходы — межклеточные пространства, заполненные смолой. Кроме годовых колец на поперечном разрезе видны узкие полосы, направленные по радиусам и называемые сердцевинными лучами. На радиальном разрезе дуба они имеют вид относительно широких лент.

● **Микроструктура древесины** состоит из большого количества живых и отмерших клеток различных размеров и форм. Живая клетка имеет протоплазму, ядро, оболочку и клеточный сок.

Протоплазма представляет собой зернистую, прозрачную, тягучую слизь (растительный белок), состоящую из углерода, водорода, кислорода, азота и серы.

Ядро от протоплазмы отличается лишь наличием фосфора, оно обычно имеет овальную форму.

Оболочка клетки состоит в основном из целлюлозы или клетчатки ($C_6H_{10}O_5$)_n. По мере роста клетки оболочка претерпевает различные изменения в строении и составе, в результате чего происходит ее одревеснение или опробкование, или ослизнение. При одревеснении в оболочке клетки образуется вещество лигнин, в результате чего увеличиваются твердость и прочность клетки. При опробковании в оболочке клетки образуются вещества с меньшим содержанием кислорода, чем лигнин, в связи с чем клетка хорошо противостоит гниению и становится непроницаемой для воды и газов. Ослизнение сопровождается превращением всей оболочки или части ее в слизь, которая растворяется в воде. Если ослизнется часть оболочки, то

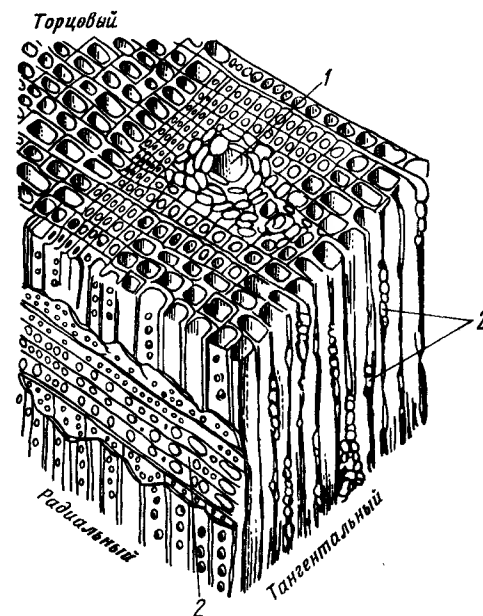


Рис. 12.5. Схема анатомического строения сосны (хвойная порода):

1 — смоляной ход; 2 — лучи сердцевины

создаются отверстия, которыми клетки соединяются между собой, образуя сосуды.

По назначению различают клетки проводящие, механические и запасающие. Проводящие клетки служат в основном для передачи питательных веществ от корней к ветвям и листьям. Механические клетки имеют вытянутую форму, толстые стенки и узкие внутренние полости, которые плотно соединены между собой. Эти клетки в основном придают древесине высокую прочность. Запасающие клетки находятся большей частью в сердцевинных лучах и служат для хранения и передачи питательных веществ живым клеткам в горизонтальном направлении.

§ 12.2. Свойства древесины

Древесина обладает весьма разнообразными свойствами. Наиболее полно они раскрываются при изучении физических и механических свойств древесины.

● **Физические свойства древесины.** На свойства древесины большое влияние оказывает влажность. Воду, находящуюся в древесине, делят на три вида: капиллярную (или свободную), гигроскопическую и химически связанную. Капиллярная вода заполняет в древесине полости клеток, межклеточные пространства и сосуды. Гигроскопическая вода находится в стенках клеток. Химически связанная вода входит в химический состав веществ, образующих древесину. Основную массу воды в растущем дереве составляют капиллярная и гигроскопическая вода или только гигроскопическая вода. Состояние древесины, в которой отсутствует капиллярная вода и содержится только гигроскопическая, называется точкой насыщения волокон. В древесине разных пород она составляет 23...35%. При высыхании древесины влага постепенно испаряется с поверхности наружных слоев, а влага, оставшаяся в древесине, передвигается от внутренних слоев к наружным.

По степени влажности различают древесину: мокрую, свежесрубленную (влажность 35% и выше), воздушно-сухую (влажность 15...20%) и комнатно-сухую (влажность 8...12%).

Гигроскопичностью древесины называют свойство ее поглощать из воздуха парообразную воду. Степень поглощения зависит от температуры воздуха и его относительной влажности.

Равновесной называют влажность, которую имеет древесина при продолжительном нахождении на воздухе с постоянной относительной влажностью и температурой. Равновесная влажность комнатно-сухой древесины составляет 8...12%, поэтому до такой влажности высушивают паркетную клепку и древесину, используемую в помещениях. Влажная древесина отдает влагу окружающему воздуху, а сухая поглощает ее. Поскольку влажность воздуха не постоянна, влажность древесины также меняется. Изменение влажности древесины от нуля до точки насыщения волокон вызывает изменение объема древесины. Последнее при-

водит к разбуханию и усушке, короблению древесины и появлению трещин. Для уменьшения гигроскопичности и водопоглощения древесину покрывают лакокрасочными материалами или пропитывают различными веществами.

Плотность древесины зависит от объема пор и влажности и характеризует ее физико-механические свойства (прочность, теплопроводность, водопоглощение). Показатель плотности используют при определении коэффициента качества, который находят отношением предела прочности при сжатии к плотности. У сосны он равен 0,6, а дуба — 0,57.

Пористость древесины хвойных пород колеблется от 46 до 85%, лиственных — от 32 до 80%.

Усушкой древесины называют уменьшение ее линейных размеров и объема при высыхании. Испарение капиллярной воды не сопровождается усушкой. Последняя происходит только при испарении гигроскопической влаги. При этом уменьшается толщина водных оболочек, мицеллы сближаются друг с другом и уменьшаются размеры древесины. Ввиду неоднородности строения древесина усыхает или разбухает в различных направлениях не одинаково. Линейная усушка вдоль волокон составляет 0,1...0,3%, в радиальном направлении — 3...6%, а в тангентальном — 7...12%.

Усушку древесины (%) в продольном U_n , радиальном U_p и в тангентальном U_t направлениях вычисляют по формулам:

$$U_n = \frac{a - a_1}{a_1} 100; U_p = \frac{b - b_1}{b_1} 100; U_t = \frac{c - c_1}{c_1} 100,$$

где a, b, c — размеры образца в продольном, радиальном и тангентальном направлениях до высушивания; a_1, b_1, c_1 — то же, после высушивания до абсолютно сухого состояния.

Степень объемной усушки $U_{об}$ (%) характеризуют коэффициентом объемной усушки и вычисляют с точностью до 0,1 по формуле

$$U_{об} = \frac{V - V_1}{V_1} 100,$$

где V, V_1 — объемы образца до и после высушивания.

Коэффициент объемной усушки $K_{об}$ для различных пород составляет 0,2...0,75% и определяется с точностью до 0,01% по формуле

$$K_{об} = U_{об}/w,$$

где w — влажность образца, %; она не должна превышать точки насыщения волокон.

Свойство неравномерного изменения линейных размеров в различных направлениях является одним из отрицательных свойств дерева как строительного материала. Медленное высыхание древесины обеспечивает более равномерную усушку и дает меньше трещин. Неравномерная усушка древесины в различных

направлениях вызывает различные напряжения, в связи с чем древесина коробится и покрывается трещинами. В круглом бревне трещины располагаются радиально. Доски, вырезанные ближе к сердцевине ствола, коробятся меньше, чем доски, выпиленные ближе к поверхности бревна.

Набуханием называют способность древесины увеличивать свои размеры и объем при поглощении воды, пропитывающей оболочки клеток. Древесина разбухает при поглощении влаги до точки насыщения волокон. Набухание, как и усушка, не одинаково в разных направлениях. Набухание древесины вдоль волокон составляет 0,1...0,8%, в радиальном направлении — 3...5% и в тангентальном — 6...12%.

Теплопроводность древесины невелика, она зависит от характера пористости, влажности, направления волокон, породы и плотности дерева, а также от температуры. Теплопроводность древесины вдоль волокон примерно в 1,8 раза больше, чем поперек волокон. В среднем она составляет 0,16...0,30 Вт/(м·°С). С увеличением плотности и влажности уменьшается количество воздуха, находящегося в пустотах, в связи с чем теплопроводность древесины увеличивается.

Электропроводность древесины зависит от ее влажности. Электрическое сопротивление сухой древесины в среднем составляет $75 \cdot 10^7$ Ом·см, а сырой — в 10 раз меньше. Древесину используют при электропроводке в качестве досок, розеток и т. д.

Водопроницаемость древесины зависит от породы дерева, первоначальной влажности, характера разреза (торцового, радиального, тангентального), местоположения древесины в стволе (ядро, заболонь), ширины годичных слоев, возраста древесины. Водопроницаемость вдоль волокон больше, чем через радиальную и тангентальную поверхности. Характеризуется водопроницаемостью древесины количеством воды, профильтровавшейся через поверхность образца (г/см²).

Стойкость древесины к действию кислот, щелочей и воды. Длительное действие кислот и щелочей разрушает древесину, и чем выше концентрация, тем сильнее их разрушающее действие. Слабощелочные растворы не разрушают древесину. В кислой среде древесина начинает разрушаться при $pH \leq 2$, тогда как разрушение бетона и стали начинается при $pH \leq 4$. По исследованиям С. И. Ванина, хвойные породы более стойки к действию серной, азотной, соляной и уксусной кислот и едкого натра, чем лиственные, а из хвойных пород наибольшей стойкостью обладает лиственница. В морской воде древесина сохраняется хуже, чем в речной. В воде большой бактериологической агрессивности стойкость древесины низка, поэтому ее не применяют в сетях канализации.

● **Механические свойства древесины** как анизотропного материала не одинаковы в различных направлениях. Механические свойства древесины зависят от многих факторов: с увеличением влажности прочность древесины снижается; древесина

большой плотности имеет более высокую прочность; на прочность древесины влияют процент поздней древесины, наличие пороков, гнили, старение.

Прочность древесины при сжатии. Усилия к конструктивному элементу могут быть приложены с учетом строения древесины вдоль или поперек волокон, поэтому различают сжатие вдоль и поперек волокон. Для испытания на сжатие вдоль волокон берут образцы древесины без сучков в виде прямоугольной призмы размером 20×20×30 мм при размере древесины не менее 30 мм вдоль волокон и испытывают на прессе. Прочность (Па) определяют по формуле

$$R_w = F_{\max} / (ab),$$

где $F_{\max}$ — максимальная нагрузка, Н; a и b — размеры поперечного сечения образца, м.

В связи с тем что механические свойства древесины зависят от влажности (рис. 12.6), для сравнения результатов испытаний предел прочности при сжатии (Па) вдоль волокон древесины данной влажности приводится к пределу прочности древесины при 12%-ной влажности по формуле

$$R_{12} = R_w [1 + \alpha(w - 12)],$$

где α — поправочный коэффициент на влажность, который показывает, на сколько процентов изменяется прочность древесины при изменении влажности на 1%.

Предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон с влажностью 12% в зависимости от породы дерева меняется в широких пределах — от 30 до 80 МПа. Предел прочности древесины при сжатии поперек волокон значительно меньше, чем при сжатии вдоль волокон, и составляет: в радиальном направлении для пихты — 4,1 МПа, граба — 25,6 МПа, а в тангентальном для ели — 7,1 МПа, граба — 15,6 МПа.

Прочность древесины на растяжение. Древесина имеет высокий показатель прочности на растяжение вдоль волокон. Для наших основных пород эта величина меняется от 80 до 190 МПа. Однако трудность передачи усилий, заключающаяся в том, что в закрепленных концах деревянной детали возникают напряжения смятия и скалывания, которым древесина сопротивляется плохо, не позволяет широко использовать древесину в конструкциях, работающих на растяжение.

Прочность древесины на статический изгиб высока, благодаря чему ее широко

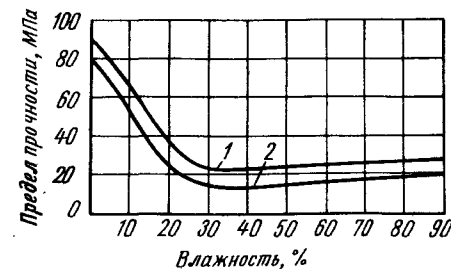


Рис. 12.6. Зависимость предела прочности на сжатие от влажности древесины: 1 — дуб; 2 — пихта

применяют для элементов зданий и сооружений, работающих на изгиб (балки, бруски, стропила, фермы и т. д.). Предел прочности древесины на изгиб определяют на образцах-балочках размером 20×20×300 мм. Для различных пород он составляет 50...100 МПа (при влажности 12%).

Испытание образцов производят по схеме балки свободно лежащей на двух опорах с пролетом 240 мм и нагруженной двумя сосредоточенными грузами на расстоянии 80 мм:

$$R_{\text{и}}(\omega) = 2F_{\text{max}}l/(bh^2),$$

где F_{max} — вес разрушающего груза, Н; l — расстояние между опорами, м; b и h — ширина и высота сечения образца, м.

Предел прочности древесины на изгиб должен быть приведен к влажности 12%. У лиственных пород прочность при изгибе в радиальном и тангентальном направлениях практически одинакова, а у хвойных прочность в тангентальном направлении немного больше, чем в радиальном. Прочность на статический изгиб зависит от тех же факторов, что и прочность при сжатии.

Прочность древесины на скалывание вдоль волокон невысокая — 6,5...14,5 МПа. Сопротивление перерезыванию древесины поперек волокон в 3...4 раза выше сопротивления скалыванию вдоль волокон, но чистый срез обычно не имеет места, так как одновременно происходит смятие и изгиб волокон. В строительных конструкциях древесина часто работает на скалывание вдоль волокон, например в стропильных фермах и других элементах конструкций. Вместе с тем следует иметь в виду, что в настоящее время на передовых предприятиях наблюдается тенденция к переходу на стандартную влажность древесины, равную 12%.

§ 12.3. Пороки древесины

● **Пороками древесины называют отклонения от нормального строения, а также повреждения, которые оказывают влияние на ее технические свойства.** Пороки появляются как при росте дерева, так и при хранении на складах и эксплуатации. В зависимости от причин их появления пороки делят на следующие группы: пороки, зависящие от неправильного строения, образовавшиеся от механического повреждения; от грибковых заболеваний; от повреждений насекомыми.

Пороки, зависящие от неправильного роста древесины, следующие:

Косослой древесины выражается в винтообразном направлении волокон (рис. 12.7, б), что значительно ухудшает физико-механические свойства древесины. Косослойная древесина имеет повышенную усушку, продольное коробление и понижает прочность древесины при изгибе;

Крень однобокая и местная (рис. 12.7, а) встречается у хвой-

ных пород и представляет собой утолщение поздней части годовых слоев;

Кривизна, представляющая собой искривление ствола по длине, бывает односторонней и разносторонней, причем ствол может быть искривлен в одной или разных плоскостях. Кривизна уменьшает полезный выход продукции и является причиной искусственного косослоя;

Сбежистость представляет собой уменьшение диаметра ствола от корня к вершине, превышающее норму; сбежистость является причиной искусственного косослоя и уменьшает полезный выход продукции;

Двойная сердцевина, характеризующая наличием двух сердцевины в торцовом сечении ствола, встречается при двухвершинности дерева (рис. 12.7, г), что снижает качество сортамента;

Сучковатость выражается количеством сучком на 1 м, величиной и видами самих сучков; сучки бывают заросшие, выпадающие, рыхлые, роговые, табачные и др., а также здоровые и загнившие (так, табачные являются очагами загнивания здоровой древесины);

Трещины образуются не только при высыхании срубленного дерева, но и при жизни его от различных причин (усыхания ядра, раскачивания ветром, мороза и т. д.). Трещины бывают следующих видов: метик, отлуп, морозобоина и трещины усушки. Метик представляет собой одну или несколько внутренних радиально-продольных трещин, проходящих через сердцевину, но не доходящих до луба. Различают метик простой и крестовый (рис. 12.8). Простой метик состоит из одной или двух трещин на торце, расположенных по одному диаметру; крестовый метик образуется двумя или несколькими трещинами на торце, расположенными под углом одна к другой. Метик бывает согласный, если трещина идет по стволу в одной плоскости, и несогласный, если трещина идет винтообразно. Отлупом называют внутреннюю трещину, идущую по годовому слою вдоль ствола (см. рис. 12.7, а). Отлуп может быть дугообразный или кольцеобразный. Морозобоиной называют наружную открытую продольную трещину, более широкую с внешней стороны ствола и сужающуюся к центру ствола. Трещины усушки встречаются очень часто в древесине почти всех пород (рис. 12.9). Они образуются при высыхании древесины ниже точки насыщения волокон и распространяются от поверхности вглубь. Трещины снижают ка-

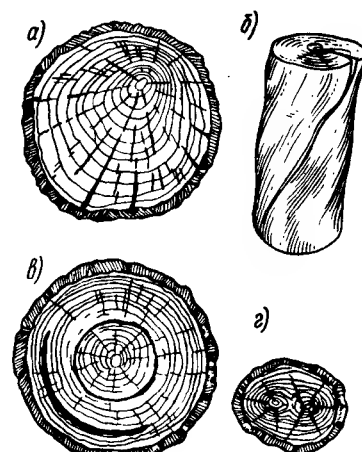


Рис. 12.7. Пороки, вызываемые неправильностью роста древесины: а — крень; б — косослой; в — отлуп; г — двойная сердцевина

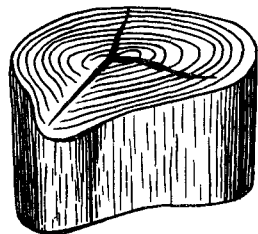


Рис. 12.8. Метик крестовый

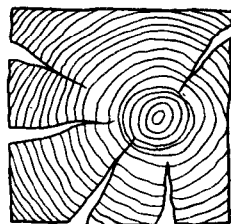


Рис. 12.9. Трещины усушки

чество древесины, уменьшают количество полезной древесины и способствуют ее загниванию.

Повреждения древесины грибами весьма многочисленны. Ненормальные окраски и гнили древесины вызываются главным образом поселившимися в ней грибами, являющимися простейшими растительными организмами и питающимися за счет клеток древесины, а иногда вызываются физико-химическими факторами. Грибки развиваются при наличии кислорода, влаги и благоприятной температуры. Древесина с влажностью 20% и менее, а также древесина, помещенная в воду или на морозе, не загнивает.

Некоторые грибки могут развиваться лишь на растущем дереве, другие — только на срубленном, а некоторые развиваются как на растущем, так и на срубленном дереве. Одни грибки только изменяют окраску древесины и почти не влияют на физико-механические свойства, другие изменяют цвет и физико-механические свойства древесины, разрушают ее, образуя гнили.

К группе грибов, поражающих растущее дерево и продолжающих разрушать его в конструкциях, относятся: гниль дуба белая или бурая, гниль лиственных пород белая и т. п. Грибки, развивающиеся на древесине в зданиях и сооружениях, называют домовыми грибами. Наиболее опасными, быстро разрушающими древесину, являются гриб белый домовый (рис. 12.10) и домовый пленчатый (рис. 12.11). К группе грибов, медленно разрушающих древесину, относятся плесени, цветные окраски и синева. Процесс гниения древесины при ее высыхании прекращается, и все грибки погибают.

Повреждение древесины насекомыми (червоточина) происходит как на растущем, так и на срубленном дереве. Насекомые расселяются преимущественно на свежесрубленных, а также на сухостойких и ослабленных деревьях на корню. Растущему дереву наибольший вред приносят короед, усачи и другие насекомые (поверхностное повреждение древесины в виде неглубоких извилистых бороздок, вызываемое жучками-короедами, лубоедами и их личинками). При использовании древесины, пораженной короедом, для распиловки на доски и тес поврежденные места срезают, что не оказывает вредного влияния на материал,



Рис. 12.10. Грибок домовый белый



Рис. 12.11. Грибок домовый пленчатый

но при использовании бревен, поврежденных короедом, возможно быстрое их загнивание, так как жуки часто заносят споры грибов, вызывающих гниение.

Червоточина — это глубокое повреждение древесины насекомыми и их личинками. Древесина, пораженная глубокой червоточиной, имеет низкие механические свойства и сортность вплоть до перехода в разряд дровяных. Глубокая червоточина встречается на всех древесных породах.

Очень быстро разрушают древесину морских подводных сооружений моллюски (морской червь — шашень).

§ 12.4. Предохранение древесины от разрушения и возгорания

Древесина, находящаяся в сооружении и на складе, может подвергаться разрушению, вызываемому грибами и насекомыми. Неодинаковые древесные породы оказывают различную сопротивляемость разрушающей деятельности грибов и насекомых. Более стойкой является плотная древесина с большим содержанием летней древесины с дубильными веществами. Сухая окоренная (без луба) древесина сохраняется довольно долго в сухих, проветриваемых помещениях. Некоторые древесные породы, находящиеся в воде, не только не разрушаются, но и увеличивают свою прочность, например дуб.

Предохранить древесину от загнивания и увеличить срок службы в сооружении можно путем защиты ее от увлажнения, а также конструктивными мерами.

Срок службы древесины увеличивается при сплошном покрытии ее в сухом состоянии масляной краской, лаком или олифой. Значительно увеличивается срок службы сухой древесины, обмазанной смолой. В этом случае смола выполняет функции не только красителя, но и антисептика, хотя и слабого. Выщелачиванием древесины в холодной воде либо в процессе сплава леса можно удалить растительные соки. Выщелачивание производят также в горячей воде путем вываривания.

● **Антисептиками называют вещества, которые отравляют грибки, вызывающие гниение древесины.** Антисептики должны обладать высокой токсичностью по отношению к грибкам, быть стойкими, не должны поглощать влагу и вымываться водой. В то же время они должны быть безвредны для человека и домашних животных, хорошо проникать в древесину и не должны разрушать ее и металл и иметь неприятный запах. Антисептики бывают водорастворимые, маслянистые и пасты.

Водорастворимые антисептики используют для обработки древесины, которая в процессе эксплуатации не будет подвергаться воздействию влаги. Из водорастворимых антисептиков наиболее широко применяют фтористый и кремнефтористый натрий, медный купорос, динитрофенолят натрия. Фтористый натрий NaF — белый порошок, мало растворимый в воде, не имеет запаха, не разрушает древесину и железо. Применяют фтористый натрий для пропитки и обмазки древесины в виде 3%-ного раствора при температуре 15°C. Фтористый натрий нельзя использовать в смеси с известью, мелом и гипсом. Кремнефтористый натрий Na_2SiF_6 — порошок, плохо растворимый в воде, по антисептическим свойствам близок к фтористому натрию. Применяют его в виде горячего раствора в смеси с фтористым натрием в соотношении 1:3, а также в качестве компонента в силикатных пастах или после обработки щелочью. Динитрофенолят натрия производят из динитрофенола под действием углекислой соды. Динитрофенолят натрия не летуч, не гигроскопичен, не разрушает металлов, в сухом порошке взрывоопасен. Используют его в водных растворах для поверхностной обработки изделий из дерева, которые не будут находиться вблизи нагреваемых поверхностей.

Масляные антисептики вследствие горючести и резкого запаха применяют ограниченно, только для пропитки или обмазки древесины, находящейся на открытом воздухе, в грунте или воде. К ним относятся каменноугольное креозотовое и антраценовое масла, торфяной креозот, каменноугольный деготь и сланцевое масло. Креозотовое масло — черная или коричневая жидкость — является одним из лучших антисептиков, слабо вымывается водой, не гигроскопично, не летуче, не разрушает древесину и металл; обладает горючестью, малой проницаемостью

в древесину (1...2 мм), имеет неприятный запах; на поверхности древесины образует плотный слой, затрудняющий ее высыхание. Креозотовое масло применяют подогретым до 50...60°C. Оно окрашивает древесину в темный цвет, в связи с чем ее нельзя красить. Креозотовое масло не следует применять для внутренней окраски жилых зданий и складов пищевых продуктов, подземных сооружений и поверхностей, расположенных около горючих мест. Антраценовое масло — зеленовато-желтая жидкость, обладающая сильным антисептическим действием, медленно улетучивается, слабо выщелачивается водой и не разрушает дерева и металлов. Антраценовое масло получают из каменноугольного дегтя. Оно обладает такими же свойствами, что и креозотовое масло, и применяется в тех же случаях.

Антисептические пасты по виду вяжущих веществ бывают битумные, силикатные и др. Битумные антисептические пасты содержат 30...50 % фтористого натрия, 5...7 % торфяного порошка, до 30 % нефтебитума марки III или IV и до 30 % зеленого нефтяного масла. Эти пасты огнеопасны во время приготовления, обладают резким запахом, водоустойчивы. Применяют их для покрытия элементов, находящихся в условиях увлажнения, соприкасающихся с землей и открытых для атмосферного влияния. Силикатные антисептические пасты содержат 15...20 % кремнефтористого натрия, 65...80 % растворимого стекла, 1...2 % креозотового масла и до 20 % воды. Эти пасты не водостойки и не горючи. Применяют их в промышленном и жилищном строительстве в местах, защищенных от воды.

● **Способы антисептирования древесины следующие: поверхностное антисептирование, пропитки в горяче-холодной или в высокотемпературной ваннах, пропитка под давлением и т. д.**

Поверхностное антисептирование заключается в промазывании или опрыскивании древесины раствором антисептика.

Пропитку древесины в горяче-холодной ванне производят водорастворимыми и масляными антисептиками. При этом древесину сначала загружают в ванну с горячим антисептиком с температурой до 98°C и выдерживают 3...5 ч, а затем помещают в ванну с холодным антисептиком на 1...3 ч с температурой водорастворимых антисептиков 15...20°C и масляных 40...60°C. Этот способ эффективен при пропитке подсушенной древесины, имеющей влажность заболони не более 30%.

Пропитку древесины в высокотемпературных ваннах (с петролатумом) применяют для антисептирования сырой древесины. Древесину загружают в ванну с расплавленным жидким петролатумом, имеющим температуру 120...140°C, и выдерживают в ней некоторое время для нагревания и сушки, затем древесину перемещают в холодную ванну с масляным антисептиком с температурой 65...75°C на 24...48 ч. В этом способе совмещается сушка и антисептирование древесины.

Пропитку древесины под давлением производят водными и масляными антисептиками в специальных стальных цилиндри-

ческих котлах — ретортах с рабочим давлением 0,6...0,8 МПа. Для этого лесоматериал загружают в пропиточный бак и герметически закрывают, т. е. создают вакуум. Затем бак наполняют антисептиком и повышают давление до 0,6...0,8 МПа, после чего давление доводят до нормального, удаляют антисептики и вынимают лесоматериал.

При пропитке древесины масляными антисептиками их предварительно подогревают, чтобы температура в баке при пропитке не была ниже установленного предела.

● **Предохранение древесины от возгорания.** Легкая возгораемость древесины — один из существенных ее недостатков. Предохранить древесину от возгорания можно конструктивными мерами: удалением от источников нагревания; применением прокладок из негорючих материалов (бетона, кирпича и т. д.), покрытием слоем малотеплопроводного материала (асбестом, штукатуркой и т. п.) или обработкой огнезащитными веществами. Применяют два способа обработки покрытия: красками и антипиренами — специальными химическими веществами.

Огнезащитные краски по составу бывают силикатные, казеиновые, масляные и хлорвиниловые. Силикатные краски изготовляют на растворимом стекле, они обладают высокими огнезащитными свойствами. При окраске древесину покрывают слоем огнезащитной краски, которая сама по себе не горит, долго не разрушается от огня и плохо проводит тепло. Антипирены представляют собой более надежное средство в борьбе с воспламеняемостью древесины. Они при высокой температуре либо плавятся, либо выделяют газы, препятствующие горению. Равномерно пропитанное антипиреном сухое дерево при высокой температуре не воспламеняется, а только тлеет. Лучшими огнезащитными свойствами обладают антипирены, содержащие соли аммония или борной и фосфорной кислот. Пропитку древесины антипиренами производят так же, как и пропитку водорастворимыми антисептиками, что дает лучшие результаты, чем покрытие ее огнезащитными красками.

§ 12.5. Породы древесины и их применение в строительстве

В строительстве применяют хвойные и лиственные породы древесины.

● **Хвойные породы широко используют в строительстве: это сосна, ель, лиственница, пихта.**

Сосна в зависимости от условий произрастания бывает двух видов: рудовая и мяндовая. Рудовая сосна растет на высоких песчаных почвах и имеет мелкослойную плотную смолистую древесину, большое ядро и узкую заболонь. Мяндовая сосна растет в низинах на песчаных или глинистых почвах и имеет более слабую, чем рудовая, широкослойную древесину, малое ядро и широкую заболонь. Сосну применяют для постройки стен жи-

лых домов, мостов, эстакад, столбов, для изготовления оконных переплетов, дверей, полов.

Ель — спелодревесная безъядровая порода, имеет белый цвет, иногда с желтоватым или розоватым оттенком. Она обладает меньшей смолистостью, чем сосна, поэтому быстрее загнивает. Ель широко используют в строительстве, хотя по физико-механическим свойствам она уступает сосне.

Лиственница — ядровая хвойная порода с красновато-бурым ядром и узкой заболонью белого цвета. Древесина лиственницы имеет высокие физико-механические свойства, плотность и прочность на 30% выше, чем у сосны. Стойкая против загнивания, обладает высокой твердостью, затрудняющей обработку. К недостаткам лиственницы следует отнести большую разницу между радиальной и тангентальной усушкой, в связи с чем она имеет склонность к растрескиванию. Применяют лиственницу для изготовления столбов и балок в основном в гидротехническом строительстве.

Пихта — спелодревесная безъядровая порода с древесиной белого цвета. В пихте отсутствуют смоляные ходы; по техническим свойствам она близка к древесине ели и применяется для тех же целей, но менее устойчива во влажных условиях.

● **Лиственные породы очень многочисленны и обладают разнообразными свойствами. Наибольшее применение в строительстве имеют дуб, береза, ольха, осина, бук, липа, клен.**

Дуб — ядровая кольцесосудистая порода с заболонью желтоватого цвета с хорошо выраженными сердцевинными лучами. Древесина дуба плотная, прочная и упругая, стойкая против гниения, имеет красивый рисунок и цвет, но склонна к растрескиванию. Древесина дуба является хорошим строительным материалом, но ввиду дефицитности ее применяют только для паркета, столярных и отделочных работ в судостроении.

Береза — заболонная порода с твердой и тяжелой древесиной белого или желтоватого цвета. Береза довольно прочна, но мало устойчива против гниения, при высыхании коробится. Применяют березу для изготовления фанеры, токарных изделий, мебели.

Ольха — заболонная порода, легкая, мягкая, ломкая и сильно коробящаяся. На воздухе древесина ольхи быстро портится, но если она в свежесрубленном состоянии применяется для подводных сооружений, то довольно прочна и сохраняется долго.

Осина — заболонная порода, легкая, мягкая, белого цвета. В сухой среде осина прочная, хорошо колетса и мало трескается при высыхании. Применяют осину для получения фанеры, кровли и т. д.

Бук — тяжелая твердая древесина белого цвета с красноватым оттенком. При высыхании коробится и трескается, склонен к загниванию, особенно в местах с переменной влажностью.

§ 12.6. Хранение и сушка лесных материалов

Свежесрубленная древесина имеет влажность значительно большую, чем допускается при ее использовании. При быстром высыхании древесины возможно коробление и растрескивание. Поэтому перед использованием древесины в строительстве ее сушат, что предохраняет от загнивания, увеличивает прочность, уменьшает плотность и склонность к изменению формы и размеров. В настоящее время применяют следующие способы сушки древесины: воздушную (естественную), камерную, электросушку, сушку в горячих жидкостях. Основными являются воздушная и камерная сушки.

Воздушная сушка происходит на открытом воздухе, под навесом или в закрытых складах. Продолжительность сушки древесины с влажностью 60 % до влажности 20 % в зависимости от времени года — 15...60 сут. Воздушная сушка требует больших площадей, зависит от климатических условий и времени года, не исключает загнивания древесины, а высушивание ее возможно только до воздушно-сухого состояния.

Камерную сушку осуществляют в специальных камерах-сушилах с помощью нагретого и увлажненного воздуха или топочных газов с температурой 40...105°C. При камерной сушке соблюдается определенный режим, т. е. соотношение между температурой и влажностью воздуха. Нарушение режима сушки приводит к растрескиванию и короблению древесины, к увеличению брака и удлинению сроков сушки. Искусственная сушка не только сокращает сроки сушки, но позволяет высушивать изделия до влажности ниже 16 %, получать древесину высокого качества, без коробления и трещин. К недостаткам камерной сушки относится необходимость иметь оборудование и помещение, а также значительный расход топлива, электроэнергии и рабочей силы.

12.Б. Материалы, изделия и конструкции из древесины

● В строительстве применяют следующие виды лесных материалов и изделий: лесоматериалы круглые (бревна), пиломатериалы и заготовки, изделия строганные погонажные, материалы для полов, плиты столярные, материалы для кровель временных зданий, фанера и столярные изделия. К деревянным конструкциям относятся: несущие конструкции, изготавливаемые из естественной (неклееной) древесины; комплекты изделий и деталей для домов заводского изготовления и клееные конструкции.

§ 12.7. Лесоматериалы круглые и пиломатериалы

● Лесоматериалы круглые (бревна) строительные из хвойных и лиственных пород представляют собой отрезки стволов деревьев толщиной на верхнем торце не менее 12 см, подтовар-

ник — диаметром 8...11 см, а жерди — 3...7 см. Бревна должны быть очищены от сучьев заподлицо с поверхностью и окорены с полным удалением луба. По назначению бревна подразделяют на строительные и пиловочные.

Бревна строительные изготавливают преимущественно из сосны, лиственницы, кедра, реже из ели и дуба. Их используют для несущих конструкций: свай, пролетных строений мостов в гидротехническом строительстве, опор воздушных линий связи и т. п. Длина бревен 3...6,5 м с градацией в 0,5 м. В зависимости от качества древесины делят на четыре сорта. В строительстве применяют древесину 2-го и 3-го сортов. Пиловочные бревна стволов хвойных и лиственных пород используют для получения пиломатериалов. Кряжи — обрезки ствола дерева чаще березы, ольхи, осины (диаметром более 200 мм) — используют в производстве фанеры.

Хранение круглых лесоматериалов осуществляют в штабелях по породам, категориям и длине.

● Пиломатериалы получают продольной распиловкой древесины: на доски толщиной 100 мм и менее при соотношении ширины к толщине более 3; бруски толщиной 100 мм и менее при отношении ширины к толщине 3 и менее; брусья (четырёх- и двухкантные) толщиной и шириной более 100 мм. По характеру обработки пиломатериалы делят на обрезные, у которых обе кромки пропилены по всей длине, не обрезные, у которых кромки не пропилены или пропилены меньше, чем на половину длины. Из хвойных пород изготавливают пиломатериалы трех видов: доски, бруски и брусья. Доски производят толщиной 13...40 мм и шириной 80...250 мм; бруски — толщиной 50...100 мм и шириной 80...200 мм; брусья — толщиной 130...250 мм и шириной 130...250 мм. Пиломатериалы из хвойных пород имеют длину до 6,5 м с градацией в 0,25 м. Из лиственных пород пиломатериалы изготавливают длиной 1...6,5 м с градацией в 0,25 м, толщиной 13...75 мм и шириной 80...200 мм. Пиломатериалы для клееных конструкций должны иметь влажность не более 15 %, а для пролетных строений мостов и других несущих конструкций — не более 25 %.

Древесина, применяемая для пиломатериалов, должна быть высокого качества и не должна содержать гнили, а для пиломатериалов первой и второй категорий — также червотчины, пасынков, гнилых и табачных сучков.

§ 12.8. Заготовки из древесины хвойных и лиственных пород

● Заготовками называют пиломатериалы, заготовленные применительно к габаритным размерам изделий из древесины с припусками на усушку и обработку, предусмотренными действующими стандартами. В зависимости от вида обработки заготовки делят на пиленые, клееные и калиброванные (предварительно

простроганные); в зависимости от размера заготовки — на тонкие (толщиной до 32 мм), толстые (толщиной более 32 мм), досковые (толщиной 7...100 мм и шириной более двойной толщины) и брусковые (толщиной 22...100 мм и шириной не более двойной толщины). Длину заготовок из хвойных и лиственных пород устанавливают 0,3...1 м с градацией 50 мм и свыше 1 м с градацией 100 мм.

Влажность пиленых заготовок не должна превышать 18...22 %, а клееных и калиброванных — должна соответствовать влажности готовых изделий.

Качество древесины и обработка заготовок хвойных пород должны соответствовать ГОСТ 9685—61*, лиственных — ГОСТ 7897—83.

● **К строганым погонажным деталям относят наличники, раскладки, плинтусы, доски для настила чистых полов, поручни для перил, проступи, доски подоконные и наружную обшивку.** Строганные погонажные материалы делают из древесины хвойных и лиственных пород. Погонажные изделия изготовляют длиной 2,1 м и более с градацией через 100 мм. Влажность древесины для досок чистого пола не должна превышать 12 %, а для других деталей — не более 15 %. Погонажные строганные изделия могут быть не только цельными, но и составными как по сечению, так и по длине. Во всех случаях соединение выполняют на клею.

● **Материалы для полов бывают следующих видов: штучный паркет, наклеенный на бумагу; паркетные доски, доски для настила чистых полов, шашка торцовая и плиты древесноволокнистые.** Для изготовления паркета применяют дуб, бук, березу, сосну, лиственницу, ясень, клен, берест, вяз, ильм, каштан, граб, белую акацию. Доски для настила чистых полов изготовляют из сосны, ели, лиственницы, пихты, кедра, березы, бука и ольхи, а шашку торцовую — из древесины хвойных и твердых лиственных пород, исключая пихту, дуб, бук и березу. Влажность древесины для чистого пола не должна превышать 12 %, для паркета и паркетных досок — 6...10 % и для шашки торцовой — не более 28 %. Доски для пола и торцовая шашка до их укладки должны антисептироваться.

● **Столярные плиты состоят из реечных щитов, оклеенных рубашками из шпона.** Плиты столярные в зависимости от вида материала делят на облицованные строганой фанерой с одной или обеих сторон и необлицованные; по виду обработки поверхности рубашек — на шлифованные с одной или обеих сторон и нешлифованные; по виду клея, применяемого для склеивания рубашек со щитом, — на клеенные синтетическими смолами и на клеенные белковыми клеями. Щиты плит изготовляют из одной породы дерева хвойных или мягких лиственных пород, а также из березы. Рубашки для необлицованных плит делают из березового, ольхового, букового и соснового шпона и для облицованных плит — из строганой фанеры не ниже 2-го сорта. Плиты столяр-

ные производят шириной 1220, 1270 и 1525 мм, длиной 1800, 2120 и 2500 мм и толщиной девяти типоразмеров от 16 до 50 мм. Влажность столярных плит не должна превышать 8 %.

§ 12.9. Фанера и материалы для кровель временных зданий

● **Кровельные материалы для временных зданий производят следующих видов: стружку, дрань, плитки деревянные и гонт.** Материалы для кровель изготовляют из сосны, ели, пихты и осины; дрань можно также изготовлять из лиственницы; плитку — из кедра.

Стружку производят длиной вдоль волокна 400...500 мм, шириной 70...120 мм и толщиной 3 мм; *дрань* — длиной 400...1000 мм, шириной 90...130 мм и толщиной 3...5 мм; *плитки* — длиной 400...600 мм с градацией через 50 мм, шириной не менее 70 мм и толщиной 13 мм; *гонт* — длиной 500...700 мм с градацией через 100 мм, шириной 70...120 мм с градацией через 10 мм и толщиной со стороны шпунта 15 мм, со стороны пера — 3 мм. Влажность древесины, применяемой для стружки и драни, составляет 40 %, а для плиток и гонта — до 25 %.

● **Фанеру изготовляют склеиванием тонких слоев (шпонов) древесины.** В строительстве применяют фанеру трех видов: клееную, бакелизированную и декоративную.

Клееную фанеру делят: на фанеру повышенной водостойкости, клеенную клеями типа фенолоформальдегидного марки ФСФ; средней водостойкости, клеенную карбамидными или альбумино-казеиновыми клеями (марок ФК и ФБА) и ограниченной водостойкости, клеенную белковыми клеями марки ФБ. В зависимости от вида обработки поверхностей рубашек фанеру делят на шлифованную и нешлифованную. Клееную фанеру изготовляют из березы, бука, осины, ясеня, ильма, дуба, липы, ольхи, сосны, ели, кедра и пихты размерами 2400×1525 мм и толщиной 1,5...18 мм. Клееную фанеру повышенной водостойкости применяют для несущих конструкций (балок, арок, рам и т. п.) в открытых сооружениях с защитой от увлажнения — окраской; в помещениях с влажностью воздуха до 70 % — без окраски. Фанеру средней водостойкости применяют для перегородок и внутренней обшивки зданий.

Бакелизированную фанеру изготовляют из целых листов по ширине березового шпона толщиной не более 1,5 мм, пропитанного и клеенного фенолоформальдегидными клеями. Бакелизированная фанера имеет высокие конструктивные качества, ее предел прочности на растяжение 60...80 МПа, при этом она так же легка, как и древесина, имеет повышенную водостойкость и прочность. Ее применяют для легких конструктивных элементов без окраски поверхности.

Декоративную фанеру изготовляют из березового, ольхового и липового шпона. По виду облицовки декоративную фанеру

делят на два вида: фанеру, поверхность которой облицована бесцветной клеюкрашенной пленкой, и фанеру, поверхность которой облицована пленкой и декоративной бумагой. Декоративная фанера может быть облицована с одной или двух сторон и иметь глянцевую или полуматовую поверхность. Декоративную фанеру выпускают следующих размеров: длиной 1220...1830 мм, шириной 725...1220 мм и толщиной 1,5...12 мм. Влажность фанеры не должна превышать 10%. В строительстве декоративную фанеру применяют для внутренней отделки стен, перегородок, панелей, дверных полотен и встроенной мебели.

§ 12.10 Столярные изделия

● Столярные изделия из древесины производят следующих основных видов: элементы дверей, окон, перегородки и панели (щитовые, филленчатые, глухие и остекленные) для жилых зданий и ворота для промышленных зданий (распашные, открытые, подвесные и неподвижные, утепленные и неутепленные). Из древесины хвойных пород изготавливают столярные изделия, а из лиственных (бука, березы и др.) — только внутренние двери и фрамуги для помещений с относительной влажностью воздуха не более 70%. Изготовление щитовых дверей, столярных перегородок и панелей (внутреннего заполнения) производят из отходов лесопильного, деревообрабатывающего и фанерного производства. Оконные переплеты можно также изготавливать из клееных заготовок на водостойких клеях.

В последнее время для изготовления пустотелых щитовых дверей в качестве заполнителей применяют отходы изоляционных древесноволокнистых плит (рис. 12.12, а). Запрессованные полоски обеспечивают необходимую жесткость дверных полотен.

Двери с более ровными лицевыми поверхностями получают при использовании комбинированного заполнителя из твердых и рыхлых материалов (рис. 12.12, б). В качестве твердого материала используют деревянные бруски, а рыхлого материала — полоски из изоляционной древесноволокнистой плиты, ширина которых на 3...4 мм больше ширины заполнителя из твердых материалов. Клей наносят только на твердые заполнители. Подпрессованный рыхлый материал препятствует прогибанию облицовочного слоя и позволяет получить ровные лицевые поверхности пустотелых щитовых дверей.

Наряду с однотонной окраской щитовых дверей изготавливают также двери с отделкой имитационной текстурной бумагой. Для изготовления последних на гладкую поверхность древесноволокнистой плиты наклеивают лист бумаги, на котором напечатан рисунок, воспроизводящий текстуру натуральной древесины ценных пород. Для предотвращения просвечивания текстуры плиты и создания необходимого тона окраски под текстурную бумагу кладут тонирующую бумагу. Между древесноволокнистой

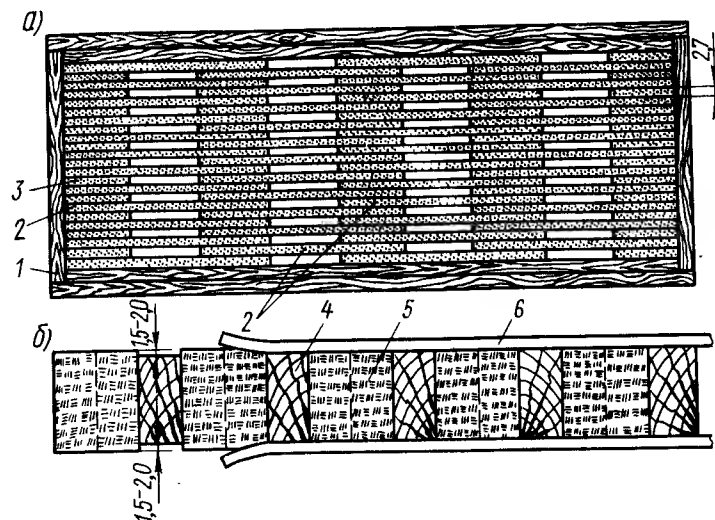


Рис. 12.12. Заполнители для пустотелых щитовых дверей:

а — из изоляционных плит; б — комбинированные; 1 — деревянная рама; 2 — клееные полосы из изоляционных плит; 3 — прокладка; 4 — твердый материал; 5 — рыхлый материал; 6 — облицовочный слой

плитой и прокладочной бумагой, а также между последней и текстурной бумагой для их склеивания помещают смоляные пленки. Такой же отделочной пленкой покрывают текстурную бумагу сверху. Отделочная пленка необходима для получения прочной и блестящей поверхности изделия. Собранный пакет (рис. 12.13) укладывают на полированную прокладку с зеркальной поверхностью и запрессовывают в горячем прессе, где под действием высокой температуры пленки плавятся, а затем затвердевают. Такая плита обладает высокой твердостью и стойкостью.

Отечественная промышленность производит большое разнообразие дверных блоков для жилых и общественных зданий. Дверные внутриквартирные блоки типов Д2 и Д4 (щитовой

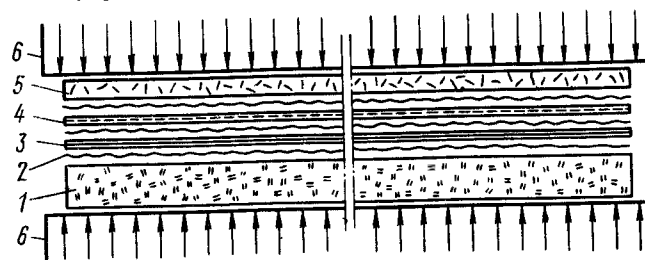


Рис. 12.13. Схема сборки пакета для имитационной отделки дверей:

1 — имитируемая древесноволокнистая плита; 2 — смоляные пленки; 3 — кроющая или тонирующая бумага; 4 — текстурная бумага; 5 — стальная полированная прокладка; 6 — горячие плиты пресса

конструкции) состоят из дверного полотна и коробки. Полотно представляет собой щитовую конструкцию, состоящую из рамки, собранной из брусков, и сотового бумажного заполнителя. Полотно облицовано с двух сторон твердыми древесноволокнистыми плитами и может быть окрашено различными эмалями или облицовано строганой фанерой твердолиственных пород с отделкой лаком. Детали коробки и рамки полотна изготавливают из древесины хвойных пород. Дверной внутриквартирный блок типа ДЗ представляет собой остекленный блок щитовой конструкции. В качестве заполнителя применяют твердую древесноволокнистую плиту, в которой вырезают проем под стекло.

Изготавливают также входные двери с лестничной клетки, наружные дверные блоки и другие изделия для жилых и общественных зданий.

Однопольный глухой дверной блок предназначен для заполнения дверного проема внутри зданий общественного назначения. Дверное полотно изготавливают из хвойных пород древесины, оклеивают клееной фанерой, фанеруют березовым шпоном и покрывают полиэфирной эмалью. Дверные кромки облицовывают раскладкой твердолиственных пород. Дверную коробку фанеруют березовым шпоном и отделывают нитроэмалью.

Широкое применение в жилищном строительстве находят паркетные доски для настила полов. Паркетная доска состоит из нижнего реечного основания и верхнего лицевого покрытия. Материалом для основания служат рейки из низкосортных пиломатериалов хвойных пород, для лицевого покрытия — тонкие планки твердых лиственных пород (дуб., ясень, бук). Щитовой художественный паркет применяют для настила полов в общественных зданиях. Размеры щитов — от 750×750 до 1200×1200 мм. Для лицевого покрытия используют ясень, дуб, красное дерево. Основание для щитового паркета изготавливают из древесины хвойных пород. С лицевой стороны паркет обрабатывают специальным лаком.

§ 12.11. Конструкции из древесины

Конструкции из древесины и индустриальные строительные детали изготавливают на специальных заводах.

● Комплекты деревянных изделий и деталей для домов заводского изготовления делят на следующие группы: комплекты для брусчатых домов; для каркасных домов со стенами несущего деревянного или железобетонного каркаса с различными заполнителями; для панельных домов со стенами из несущих панелей — деревянных (щитов), железобетонных или других материалов; для домов со стенами из местных каменных и других строительных материалов. Комплекты деревянных изделий и деталей изготавливают из древесины хвойных (сосны, ели, лиственницы, кедра, пихты) и лиственных пород (бука, березы, тополя, ольхи, осины, липы). Дома заводского изготовления производят

одно- и двухэтажные, их собирают на строительной площадке из готовых элементов.

Изделия и детали поставляют на стройку в готовом виде, исключая их подгонку; детали и изделия, соприкасающиеся с землей, антисептируют.

Клееные конструкции применяют в покрытиях, перекрытиях, мостах в качестве балок прямоугольного и двутаврового сечения, а также в виде арок и частей металлодеревянных ферм в виде криволинейных и прямолинейных блоков верхних поясов ферм и элементов решетки, рам и стоек, свай и шпунта, мостовых брусев, шпал, клефанерных щитов (покрытий, стен и перекрытий), а также инвентарной опалубки. Клееные конструкции изготавливают путем склейки из досок (брусков) или из досок (брусков) и фанеры.

Влажность древесины для изготовления клееных конструкций не должна превышать 12%. Элементы конструкций, подвергающиеся увлажнению, изготавливают на водостойких клеях типа фенолоформальдегидного.

§ 12.12. Приемка, транспортирование и хранение

● При приемке лесоматериалов, изделий и конструкций из древесины на строительстве должно проверяться соответствие их качества с учетом допускаемых пороков, размеров и влажности действующим стандартам и техническим условиям.

● Изделия из дерева, поставляемые с ограниченной влажностью, при перевозке и хранении защищают от увлажнения и повреждений. Бревна, применяемые в круглом виде с ограниченной влажностью, хранят в штабелях, обеспечивающих естественную сушку древесины. Пиломатериалы, поступающие с влажностью до 25%, хранят в штабелях с плотной укладкой, а с влажностью более 25% — в штабелях, обеспечивающих естественную сушку. Детали, материалов; над штабелем устраивают плотную крышу. Детали, погонажные материалы для полов, кровель, дрань штукатурную хранят в закрытых складах, где конструкции укладывают на прокладки, предохраняющие от искривления, поломки и грунтовой влаги.

При перевозке и кратковременном хранении в штабелях детали и изделия следует накрывать брезентом, толем и другими материалами. Блоки и коробки окон и дверей при перевозке должны дополнительно расшиваться горизонтальными планками.

§ 12.13. Экономика применения материалов и изделий из древесины

В современном строительстве древесину широко используют в качестве элементов конструкций для стен и перекрытий зданий, столярных и погонажных изделий, а также для производства

стандартных деревянных домов заводского изготовления. Большое количество дерева расходуется в процессе возведения зданий и сооружений на устройство свай, столбов, опор различного назначения, опалубки, строительных лесов и т. д.

Весьма эффективно использование в строительстве клееных деревянных конструкций в виде балок, ферм, арок, рам, в покрытиях зданий и сооружений, эксплуатируемых в химически агрессивных средах. В этих условиях деревянные конструкции обеспечивают в 1,5 раза больший срок службы по сравнению со стальными или железобетонными.

Применение древесины должно быть экономически обосновано с учетом возможной замены дерева сборным железобетоном, асбоцементными, гипсовыми, пластмассовыми и другими изделиями.

В табл. 12.1 приведены перспективные технико-экономические показатели применения древесины в строительстве в сравнении с железобетоном, гипсобетоном и пр.

Таблица 12.1. Эффективность применения некоторых видов конструкций из дерева

Рекомендуемые конструкции А	Заменяемые конструкции Б	Экономия приведенных затрат, руб. Б / А
Несущие деревянные клееные конструкции для сельхоззданий пролетом 12 м, м ² (площади пола)	Железобетонные трехшарнирные рамы массового применения пролетом 12 м, м ² (площади пола)	0,8
Пол из древесностружечной плиты, м ²	Дошатый пол, м ²	1,5
Блок дверной из древесностружечной плиты, м ²	Паркетный пол, м ²	3,0
Арболитовая стеновая несущая панель толщиной 22 см, м ²	Блок дверной с дверью деревянной филленчатой, м ²	4,3
	Кирпичная стена толщиной 66 см	10,5
	Стена из эффективного кирпича толщиной 52 см	5,8
	Однослойная керамзитобетонная панель толщиной 30 см	3,2

Как следует из этих данных, применение древесины в сельскохозяйственных и промышленных зданиях (в несущих конструкциях) обеспечивает экономию 20...25% по сравнению с железобетонными шарнирными рамами.

Экономические исследования подтверждают высокую эффективность развития производства клееных деревянных конструкций (балок, рам, арок, ферм, стеновых и кровельных клефанерных панелей). Применение усовершенствованной технологии производства деревянных клееных конструкций с использованием автоматизированных линий, ускоренных способов склеивания, автоматизированных систем контроля и отбраковки сырья и про-

дукции позволяет повысить качество и снизить себестоимость изготовления конструкций.

Использование деревянных клееных конструкций особенно эффективно в сельскохозяйственных производственных зданиях, промышленных зданиях с агрессивными средами, в гражданских сооружениях — спортивных и выставочных залах, клубах и т. п., в транспортном и других видах строительства.

Экономное расходование древесины может быть достигнуто за счет усовершенствования применяемых конструкций, замены древесины другими, а также более экономичными для данного района материалами.

Большой экономический эффект дает применение в массовом жилищном строительстве древесностружечных плит и арболита (см. табл. 12.1). В настоящее время из отходов древесины получают древесноволокнистые и древесностружечные плиты на базе полимерных материалов и цемента. Это позволяет не только в наибольшей мере использовать отходы древесины, но и получать материал более высокого качества, чем древесина, с лучшими физико-механическими свойствами и эстетическими показателями.

Использование в строительстве древесноволокнистых плит и арболита, базирующихся на отходах древесины, дает значительную экономию как по единовременным, так и эксплуатационным затратам.

Одним из основных путей экономии древесины в народном хозяйстве является экономия ее на всех стадиях обработки и переработки, в лесозаготовительной промышленности при заготовке и валке леса, перевозках, при транспортировании древесины к местам потребления (особенно сплавом), длительном хранении ее на складах и т. п.

Основными мероприятиями, способствующими повышению долговечности древесины, являются: надлежащие температурно-влажностные условия хранения древесины, соответствующая обработка древесины в зависимости от ее использования, защита антисептиками и антипиренами, создание благоприятных условий эксплуатации деревянных конструкций.

ГЛАВА 13 ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

13.А. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

● Теплоизоляционные материалы предназначены для защиты от проникновения тепла или холода. Это обычно очень пористые материалы, имеющие плотность 600 кг/м^3 и низкую теплопроводность — не более $0,18 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$.

Применением теплоизоляционных материалов в строительстве можно резко сократить потери теплоты в окружающую среду через ограждающие конструкции и тем самым уменьшить расход топлива, так как каждая тонна рационально использованного теплоизоляционного материала способна сохранить 30...200 т условного топлива в год. Поэтому экономическая эффективность тепловой изоляции весьма велика: обычно затраты на ее устройство окупаются стоимостью сбереженного тепла в течение 1...1,5 лет работы изолированного трубопровода или оборудования. Еще меньше срок окупаемости затрат на изоляцию трубопроводов и поверхностей холодильных установок.

Основной задачей в производстве теплоизоляционных материалов наряду с увеличением выпуска теплоизоляционных материалов и улучшением их качества является повышение индустриализации теплоизоляционных работ и увеличение удельного веса производства изоляции в виде изделий и конструкций.

§ 13.1. Структура и свойства теплоизоляционных материалов

● Теплоизолирующая способность материала зависит не только от количества, но и характера пор, их распределения, размеров, открыты они или замкнуты. Наиболее высокими теплоизоляционными свойствами обладают материалы, содержащие при всех прочих равных условиях большое количество мелких и замкнутых пор, заполненных воздухом. Воздух в неподвижном состоянии обладает очень малой теплопроводностью (при 20°C) — $0,02 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$. Если взять какое-либо высокопористое тело с мелкими и замкнутыми порами и рассмотреть его структуру под микроскопом, то можно увидеть множество воздушных пор, отгороженных друг от друга тонкими вещественными стеночками. Совокупность таких пор, содержащих малотеплопроводный воздух, создает преграду на пути следования тепла или холода и делает материал малотеплопроводным. Для улучшения изоляционных свойств материала желательно, чтобы на пути теплового

потока имелось как можно больше таких воздушных пор, а тонкие ограничивающие их стенки располагались сотовообразно.

В наибольшей мере изолирующее свойство воздуха проявляется только при спокойном его состоянии, так как находящийся в движении воздух оказывает содействие переносу тепла. Крупнопористое, раковистое строение материала с вытянутыми порами создает условия для возникновения конвекционных потоков воздуха, что вызывает усиление передачи тепла через материал. Чем меньше объем воздуха, заключенного в порах, тем меньше его подвижность и тем лучше изолирующие свойства.

Теплоизоляционные свойства материалов зависят также от соотношения объемов воздуха, заключенного в порах, и твердого вещества, входящего в единицу объема материала. Чем тоньше слой твердого вещества, окружающего поры, тем лучше теплозащитные свойства материала и меньше его коэффициент теплопроводности. В очень пористых материалах с очень малой плотностью объем воздуха, содержащегося в них, настолько велик и теплоизолирующие свойства настолько больше, что роль твердого вещества в передаче становится очень незначительной. В таких материалах теплопроводность может приближаться к теплопроводности воздуха (например, в мипоре).

Если сравнить теплопроводность материалов, имеющих одинаковый вещественный состав, но различную пористость, то можно заметить, что теплопроводность почти пропорциональна плотности материала, т. е. содержанию в них твердого вещества.

Поры и пористые каналы в материале могут быть созданы вспениванием его, введением при изготовлении материала газообразующих добавок, контактным склеиванием или спеканием отдельных зерен и частиц материала, взаимоналожением большого количества волокон и т. п.

● Структура материала оказывает существенное влияние на его теплозащитные свойства. Особенно наглядно это проявляется в материалах волокнистого строения. Например, теплопроводность древесины вдоль волокон приблизительно в 2 раза больше теплопроводности поперек волокон. Для характеристики теплоизоляционных свойств материалов, применяемых в виде засыпок, большое значение имеет крупность зерен. С уменьшением размера зерен теплозащитные свойства материала улучшаются, что имеет место даже в том случае, если плотность его остается неизменной.

Таким образом, рассматривая общий характер строения теплоизоляционных материалов, можно сделать вывод, что малую теплопроводность материалам придают поры, когда они заполнены воздухом, но если поверхность этих пор будет покрыта пленкой воды или поры будут заполнены водой, то теплоизоляционные свойства материалов резко снижаются. Это происходит потому, что вода имеет большую теплопроводность, нежели воздух (примерно в 25 раз). Поэтому при эксплуатации теплоизоляционных материалов необходимо защищать от увлажнения.

§ 13.2. Классификация теплоизоляционных материалов

● **Классификация теплоизоляционных материалов и изделий производится по следующим признакам: структуре, форме, виду основного исходного сырья, плотности, жесткости (относительной деформации сжатия), теплопроводности и возгораемости.**

В зависимости от **структуры** теплоизоляционные материалы делят: на *волокнистые* (минераловатные, стекловолнистые и др.), *зернистые* (перлитовые, вермикулитовые, соевитовые, известково-кремнеземистые и др.), *ячеистые* (изделия из ячеистых бетонов, пеностекло, пенопласты).

По **форме и внешнему виду** теплоизоляционные материалы бывают *штучные* (плиты, блоки, кирпич, цилиндры, полуцилиндры, сегменты), *рулонные* (маты, полосы, матрацы), *шнуровые* (шнуры, жгуты), *сыпучие* и *рыхлые* (вата минеральная, стеклянная, вспученные перлит и вермикулит).

По **виду сырья** различают теплоизоляционные материалы *неорганические* и *органические*.

В зависимости от **плотности** теплоизоляционные материалы делят на марки: особо легкие (ОЛ) с марками Д 15, 25, 35, 75 и 100; легкие (Л) — Д 125, 150, 175, 200, 250, 300 и 350; тяжелые (Т) — Д 400, 450, 500 и 600.

В зависимости от **жесткости** (относительной деформации сжатия) под удельной нагрузкой теплоизоляционные материалы бывают пяти видов: мягкие (М), полужесткие (П), жесткие (Ж), повышенной жесткости (ПЖ) и твердые (Т). Для мягких материалов сжимаемость должна быть не более 30%, полужестких — 6...30% и жестких — до 6%. Величина относительного сжатия для изделий повышенной жесткости и твердых должна быть не более 10% при удельной нагрузке соответственно 0,04 и 0,1 МПа.

В зависимости от **теплопроводности** (важной характеристики) теплоизоляционные материалы делят на три класса: *низкой теплопроводности* — класс А, *средней теплопроводности* — класс Б и *повышенной теплопроводности* — класс В.

● **Неорганические теплоизоляционные материалы** подразделяют на штучные, рулонные, шнуровые, а также рыхлые и сыпучие.

Штучные материалы бывают волокнистые и ячеистые. Волокнистые неорганические теплоизоляционные материалы производят в виде плит различной степени жесткости, цилиндров, полуцилиндров и сегментов из минеральной ваты на синтетическом, битумном или крахмальном связующем, а также полужестких плит из стеклянного волокна — на синтетическом связующем. К ячеистым материалам относят: соевитовые плиты, получаемые формованием и сушкой основного углекислого магния, углекислого кальция и асбеста; вулканические плиты, полуцилиндры и сегменты, получаемые из диатомита (трепела), извести и асбеста; известково-кремнеземистые изделия, изделия в виде кирпича, полуцилиндров, сегментов пенодиатомитовые и диатомитовые; асбестовермикулитовые, перлитцементные, перлитокерами-

ческие и перлитофосфогелевые изделия, а также изделия из ячеистых бетонов на неорганических вяжущих и изделия из пено-стекла.

К *рулонным материалам* относятся волокнистые изделия в виде матов из минерального и стеклянного волокна на синтетическом связующем или прошивные, а также холсты из ультрасупер-тонкого стеклянного или базальтового волокна, скрепленных между собой силами естественного сцепления.

К *шнуровым материалам* относятся шнуры из минеральной ваты, асбеста или асбестомagneзиального сырья, а также стеклянные жгуты.

Рыхлые и сыпучие материалы по структуре бывают двух видов: волокнистые и зернистые. К первым относятся минеральная вата из металлургических и топливных шлаков, вата из силикатных горных пород, стеклянная, из штапельного супертонкого стекловолни и каолинового состава. К зернистым материалам принадлежат соевит, вспученные перлит и вермикулит, асбестомagneзиальный порошок (ньювель), асбозурит и крошка диатомитовая или трепельная.

Теплопроводность материалов в зависимости от класса приведена в табл. 13.1.

Таблица 13.1. Теплопроводность материалов

Обозначения классов материалов	Класс материалов	Теплопроводность при температуре 25°C, Вт/(м·°C)
А	Низкой теплопроводности	До 0,058
Б	Средней »	0,058...0,116
В	Повышенной »	0,116...0,15

Каждый вид теплоизоляционного материала характеризуется показателем теплопроводности при средней температуре испытания 125°C для материалов, применяемых при температуре изолируемых поверхностей до 500°C, и при 300°C для материалов, применяемых при температуре выше 500°C.

К теплоизоляционным относятся материалы и изделия, теплопроводность которых не превышает 0,15 Вт/(м·°C) при 25°C, плотностью не более 600 кг/м³, обладающих стабильными физико-механическими и теплотехническими свойствами. Они не должны выделять токсических веществ и пыли в количествах, превышающих допустимые концентрации. Материалы и изделия плотностью свыше 400 кг/м³ используют для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов, а плотностью свыше 500 кг/м³ — для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Использование материалов, содержащих органические вещества для изоляции поверхностей выше 100°C, допускается только при соответствующих указаниях стандарта.

Возгораемость — способность теплоизоляционного материала выдерживать в течение определенного времени действие высокой температуры и открытого пламени. Предельная температура пригорания — важная характеристика при изоляции промышленного оборудования; это свойство зависит от состава и структуры материала. По возгораемости теплоизоляционные материалы и изделия делят на три группы: негорящие, трудногорящие и горящие.

● **Органические теплоизоляционные материалы** производят в виде штучных изделий волокнистого или ячеистого бетона. К волокнистым относятся: изделия в виде плит, получаемые из распушенных древесных или других растительных волокон (кошара, солома, камыш и др.), путем формования и сушки; плиты, полуцилиндры, сегменты, получаемые из малоразложившегося торфа, цементно-фибробитовые плиты, а также плиты и другие изделия, получаемые из пробковой крошки и вяжущих. К ячеистым органическим теплоизоляционным материалам относятся плиты, полуцилиндры и сегменты в виде газонаполненных пластмасс, получаемые вспениванием и формованием синтетических смол и полимеров (полистирольных, фенольных полиуретановых, поливинилхлоридных и карбамидных).

§ 13.3. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия

Развитие современного индустриального строительства связано с созданием и повышением качества теплоизоляционных материалов. При этом наибольший интерес представляют теплоизоляционные материалы на минеральной основе, не подверженные гниению, достаточно огнестойкие и более долговечные, чем материалы из растительного волокна.

В настоящее время номенклатура выпускаемых теплоизоляционных материалов насчитывает более 25 наименований, из них решающее значение имеют изделия и материалы на основе минерального сырья — горных пород, шлаков, стекла и асбеста.

МИНЕРАЛЬНАЯ ВАТА И ИЗДЕЛИЯ НА ЕЕ ОСНОВЕ

● **Минеральная вата** представляет собой теплоизоляционный материал, получаемый из расплава горных пород или металлургических шлаков и состоящий из стекловидных волокон и различных неволоконистых включений в виде капель силикатного расплава и микроскопических обломков волокон. Длина волокон минеральной ваты в зависимости от способа производства 2...60 мм, в массе должно содержаться до 80...90 % тонкого волокна диаметром менее 7 мкм, содержание волокон диаметром свыше 15 мкм допускается не более 7%; теплопроводность 0,042...0,046 Вт/(м·°С); температуростойчивость не менее 600°С.

В зависимости от плотности минеральную вату выпускают трех марок: 75, 100 и 125.

Транспортируют минеральную вату в рулонах, упакованных в водонепроницаемую бумагу, пергамин или синтетическую пленку массой 50 кг. Перевозку ваты необходимо производить в крытых вагонах, предохраняя от механических повреждений. Минеральная вата хранится рассортированной по маркам в штабелях высотой до 2,5 м в закрытых складах или под навесами, предохраняющих от уплотнения и загрязнения. Технология производства шлаковой ваты приведена в гл. 4.

Минеральная вата прочно занимает ведущее положение среди теплоизоляционных материалов из неорганического сырья. Это обусловлено неограниченностью сырьевых запасов, простотой производства, высокой морозостойкостью, малой гигроскопичностью и небольшой стоимостью; ее можно применять для изготовления теплоизоляционных изделий и теплоизоляции при температуре изолируемых поверхностей от —200 до +600°С. Однако применение рыхлой минеральной ваты для тепловой изоляции затруднено присущими ей специфическими недостатками. При перевозках и хранении вата уплотняется и комкуется, часть волокон ломается и превращается в пыль; в конструкциях рыхлая вата должна быть защищена от механических воздействий, ее укладка требует больших трудозатрат. Перечисленные недостатки рыхлой минеральной ваты частично или полностью устраняются при переработке ее в минераловатные изделия: маты, полужесткие и жесткие плиты, а также скорлупы, сегменты, цилиндры и другие изделия.

● **Теплоизоляционные маты** на основе минерального волокна предназначены для тепловой изоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов тепловых сетей.

Маты минеральные прошивные применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до 400°С. Изготавливают их следующим образом: слои минеральной ваты из камеры осаждения сначала подают транспортером в камеру охлаждения, где минераловатный ковер уплотняется до заданной толщины и одновременно через него просасывается холодный воздух. Охлажденный ковер затем направляют на прошивочную машину, прошивают нитями с помощью специальных игл. На этом же станке с помощью дисковых ножей осуществляют продольную разрезку ковра, после чего разрезанные на заданные размеры маты поступают на рулоноукладчик, а затем на упаковку. Маты минераловатные прошивные изготавливают длиной 2000 мм, шириной 900...1300 мм и толщиной 60 мм, плотностью 150 кг/м³, теплопроводностью в сухом состоянии не более 0,46 Вт/(м·°С).

Маты минераловатные прошивные на металлической сетке используют для изоляции при температуре до 600°С. Изготавливают их из фильерной ваты марки ВФ путем прошивки ковра минеральной ваты на металлической сетке хлопчатобумажными нитками.

Маты выпускают размерами $3000 \times 500 \times 50$ и $5000 \times 1000 \times 100$ мм, плотностью 100 кг/м^3 , теплопроводностью при 100°C $0,05 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$.

Минераловатные маты на обкладке из стеклохолста используют для изоляции поверхности с температурой 400°C . Состоят они из минеральной ваты, прошитой стекложгутом, прошедшим обработку в мыльном растворе. Эти маты выпускают размером $2000 \times 500 \times 40$ мм, плотностью $125 \dots 175 \text{ кг/м}^3$, теплопроводностью $0,044 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$ при $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Маты минераловатные на крахмальном связующем с бумажной обкладкой предназначены для теплоизоляции трубопроводов, прокладываемых внутри помещений, и промышленного оборудования с температурой до 150°C . Эти маты выпускают длиной $1000 \dots 2000$ мм, шириной $950 \dots 2000$ мм, толщиной 40, 50, 60 и 70 мм, плотностью 100 кг/м^3 , теплопроводностью $0,044 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$ при $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$.

● **Теплоизоляционные полужесткие плиты на основе минерального волокна** применяют в качестве эффективного теплоизоляционного материала в строительных конструкциях, а также для тепловой изоляции промышленного оборудования, трубопроводов и холодильных установок. Полужесткие плиты производят на фенольном и синтетическом связующих.

Полужесткие плиты марки ПП на фенольном связующем изготавливают из минерального волокна путем нанесения на него распылением раствора фенолоспиртов с последующей поликонденсацией и охлаждением. Плиты выпускают размером $1000 \times 500 \times 30$ (40, 60) мм, плотностью до 100 кг/м^3 , теплопроводностью $0,046 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$ при $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Полужесткие плиты марки ППМ на синтетическом связующем вырабатывают из ковра минеральной ваты марки ВФ, пропитанной синтетическим связующим с последующей тепловой обработкой. Их производят плотностью $80 \dots 100 \text{ кг/м}^3$, теплопроводностью при $0 \dots 100^\circ\text{C}$ соответственно $0,031$ и $0,058 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$.

● **Теплоизоляционные жесткие плиты и изделия на основе минерального волокна.** Жесткие минеральные изделия изготавливают в виде плит, скорлуп и полуцилиндров на основе минеральной ваты и какого-либо органического связующего вещества: синтетического и битумного. Из синтетических связующих применяют фенолоформальдегидные и карбамидно-формальдегидные, а из битумных — битумы высоких марок с температурой размягчения не менее $45 \dots 50^\circ\text{C}$.

Производство жестких минераловатных изделий состоит из смешивания волокон с вяжущими в виде эмульсии или пасты, формования изделий из полученной массы при уплотнении и тепловой обработке. Формование изделий производят с применением вакуум-прессов вследствие повышенного содержания воды в формовочной массе и недопустимости большого давления при формовании. Сушку изделий ведут при температуре $110 \dots 120^\circ\text{C}$, но после испарения влаги температуру сушки повы-

шают до $130 \dots 140^\circ\text{C}$. При этом изделия на битумной связке приобретают лучшие физико-механические свойства вследствие образования битумом тонкой расплавленной пленки, обеспечивающей затем хорошую связь между волокнами.

Жесткие минераловатные плиты производят нескольких видов. Жесткие плиты типа СМ 250 на битумном связующем производят мокрым способом формования гидросмеси. Применяют их для теплоизоляции строительных конструкций. Они обладают низкой гигроскопичностью, водостойки и биостойки. Плиты выпускают размером $1000 \times 500 \times 60$ мм, теплопроводностью $0,042 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$ и для температуры эксплуатации до 70°C . Жесткие плиты марки ПЖ на синтетическом связующем применяют в крупнопанельных ограждающих конструкциях, для утепления совмещенных кровель в гражданском и промышленном строительстве. Выпускают их размером $1000 \times 500 \times 60$ мм, повышенной жесткостью и теплопроводностью $0,04 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$. Жесткие плиты на бентоколлоидном связующем благодаря высокой отражательной способности особенно эффективны для теплоизоляции объектов с высокой температурой поверхности (600°C). Плиты стойки к воздействию химических и биологических сред. Выпускают их размером 500 (1000) $\times 5000$ мм, плотностью до 150 кг/м^3 , теплопроводностью $0,04 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$ при температуре $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ и $0,11 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$ при температуре $(270 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Полуцилиндры на синтетическом связующем используют для теплоизоляции трубопроводов с температурой до $+400^\circ\text{C}$. Производство полуцилиндров осуществляют по непрерывному способу на пресс-полимеризационной установке по принципу формования изделий в камерах полимеризации. Полуцилиндры на синтетическом связующем производят плотностью до 200 кг/м^3 и теплопроводностью $0,044 \dots 0,048 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$.

СТЕКЛЯННАЯ ВАТА И ИЗДЕЛИЯ НА ЕЕ ОСНОВЕ

● **Стеклянная вата** представляет собой волокнистый теплоизоляционный материал, получаемый из расплавленной стекло-массы. Стеклянная вата имеет повышенную химическую стойкость, теплопроводность $0,05 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$ при 25°C , она не горит и не тлеет, плотность в рыхлом состоянии не должна быть более 130 кг/м^3 . Диаметр волокон стеклянной ваты, применяемой для теплоизоляции, не превышает 21 мкм . Структура ваты должна быть рыхлой — количество прядей, состоящих из параллельно расположенных волокон, не более 20% по массе.

Стеклянную вату изготавливают фильерным, дутьевым и штабиковым способами. Технология производства стеклянной ваты изложена в гл. 4. Стеклянную вату из непрерывного стекло-волокна применяют для изготовления теплоизоляционных материалов и изделий и теплоизоляции при температуре изолируемых поверхностей от -200 до $+450^\circ\text{C}$.

Маты и полосы из стеклянной ваты используют для теплоизоляции плоских поверхностей и трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей от -200 до $+450^{\circ}\text{C}$. Их получают путем прошивки стеклянной ваты, покрытой сверху и снизу слоем проклеенных стеклянных волокон толщиной до 1,5 мм, асбестовыми или кручеными из стеклянного волокна нитями. Поверхность матов проклеивают 2...5%-ным раствором декстрина или другого клея. Этот слой предохраняет маты и полосы от повреждений. Стеклянные маты выпускают длиной 1000...3000 мм, шириной 200...750 мм и толщиной 10...50 мм, плотностью не более 170 кг/м^3 .

● **Изделия из стеклянного волокна** применяют для теплоизоляции строительных конструкций холодильников и средств транспорта при температуре от -60 до $+180^{\circ}\text{C}$.

Наша промышленность производит шесть видов изделий из стеклянного волокна. Это в основном плиты длиной 7000...13000 мм, шириной 500...1500 и толщиной 30...80 мм, плотностью 35 и 50 кг/м^3 , а плиты полужесткие строительные и технические — длиной 1000 мм, шириной 500 (900, 1000, 1500) мм, толщиной 30 (40, 50, 60, 70, 80) мм и плотностью 75 кг/м^3 . Теплопроводность всех изделий в сухом состоянии при температуре $(25\pm 5)^{\circ}\text{C}$ должна быть не более $0,045\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$.

Производство изделий из стеклянного волокна состоит из следующих операций: смешивания волокна с водорастворимым синтетическим полимером, формования, тепловой обработки, раскройки и упаковки в тару.

В настоящее время производство штапельного стекловолокна осуществляют на конвейерной линии центробежно-фильно-дутьевым способом (ЦФД), где все технологические процессы автоматизированы. На центрифугодутьевой машине СМТ-094 производят волокно, которое попадает в камеру волокносаждения; затем оно подвергается обработке синтетическим связующим, раскладке в стекловолокнистый ковер равномерной толщины с последующей полимеризацией синтетического связующего и резкой спрессованного ковра на изделия — маты или плиты.

● **Вата из супертонкого стекловолокна**, а также изделия на ее основе как хороший звукоизоляционный материал в последние годы находят все большее применение в строительстве. Физико-технические свойства этих материалов характеризуются плотностью 25 кг/м^3 , теплопроводностью $0,03\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$, температурой эксплуатации от -60 до $+450^{\circ}\text{C}$, звукопоглощением 0,65...0,95 в диапазоне частот 400...2000 Гц.

● **Базальтовое супертонкое стекловолокно** является высококачественным материалом для тепловой изоляции, фильтрации, а также для изготовления теплостойких бумаг, картонов и матов. Этот материал производят очень малой плотностью — 17 кг/м^3 , низкой теплопроводностью — $0,027\text{...}0,037\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ с высоким звукопоглощением — 0,15...0,95 в диапазоне частот 100...4000 Гц. Супертонкое базальтовое стекловолокно можно

применять при температуре эксплуатации от -200 до $+700^{\circ}\text{C}$. Такими же физико-техническими показателями характеризуются маты теплоизоляционные из супертонкого стекловолокна. Звукопоглощающие маты из супертонкого базальтового стекловолокна имеют звукопоглощение 0,70...0,95.

● **Пеностекло** является хорошим теплоизоляционным высокопористым материалом ячеистого строения. Плиты из пеностекла применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий (для изоляции стен и перекрытий, утепления полов и покрытий промышленных и гражданских зданий), декоративной отделки интерьеров, изоляции поверхностей с температурой эксплуатации до 180°C . Пористость различных видов пеностекла составляет 80...95 %, размеры ячеек — 0,25...0,5 мм. Ячейки образованы тонкими стенками и имеют микропористое строение. В результате такого строения пеностекло имеет высокие теплоизоляционные свойства. Теплопроводность в зависимости от плотности ($150\text{...}250\text{ кг/м}^3$) колеблется от 0,058 до $0,12\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$. Пеностекло обладает рядом ценных свойств: водостойкостью, несгораемостью, морозостойкостью и высокой прочностью 2...6 МПа в зависимости от плотности материала.

ВСПУЧЕННЫЙ ПЕРЛИТ И ИЗДЕЛИЯ НА ЕГО ОСНОВЕ

● **Вспученный перлит** — это пористый сыпучий материал, получающийся вспучиванием природного перлита во вращающихся или шахтных печах при температуре 900...1200 $^{\circ}\text{C}$. Процесс получения вспученного перлита заключается в быстром нагреве сырья (изверженной горной породы перлита, состоящего из вулканического стекла с включением полевых шпатов, кварца и других минералов) до температуры обжига. Содержащаяся в горной породе гидратная вода энергично испаряется и удаляется из породы, а в момент размягчения пар вспучивает ее и происходит многократное увеличение объема (от 5 до 20 раз).

Вспученный перлит в виде песка представляет собой зерна белого или серого цвета с воздушными замкнутыми порами. Размер зерен 0,1...5,0 мм, плотность перлитового песка 100...250 кг/м^3 , теплопроводность в сухом состоянии 0,046...0,071 $\text{Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$, истинная пористость до 85...90 %, а количество открытых пор 3...20 %. Перлитовый песок применяют в растворах и бетонах, идущих для приготовления теплоизоляционных изделий, огнезащитных штукатурок, а также для теплоизоляционных засыпок при температуре изолируемых поверхностей от -200 до $+800^{\circ}\text{C}$.

В настоящее время вспученный перлит широко используют для производства теплоизоляционных изделий. Добавка вспученного перлита к минеральным вяжущим веществам позволяет получать несгораемые изделия, обладающие высокой жесткостью и хорошими теплофизическими свойствами.

● **Керамоперлитофосфатные и керамоперлитовые изделия** завоевали большую популярность при строительстве электронагревательных печей, реакторов в химической промышленности и других объектов благодаря высоким теплоизоляционным показателям. Технологическая линия для производства перлитовых обжиговых теплоизоляционных изделий на различных связующих (пластичная глина, фосфаты, жидкое стекло) включает в себя процессы по вспучиванию перлитовой породы, приготовлению формовочной массы, полусухого прессования изделий и их термической обработки (сушки и обжига). Керамоперлитофосфатные изделия на фосфатном связующем применяют для тепловой изоляции печей и оборудования с температурой до 1150°C, в том числе для электронагревательных печей с контролируемыми углеводородсодержащими средами. Формовочная масса состоит из вспученного перлитового песка плотностью 60...120 кг/м³, пластичной глины огнеупорностью 1680...1710°C и фосфатного связующего. Формование изделий производят на прессах в металлических формах. Изделия выпускают плотностью 250...400 кг/м³, огнеупорностью 1350...1400°C, теплопроводностью не более 0,2 Вт/(м·°C) при 600°C. Керамоперлитовые изделия — плиты, кирпич, сегменты, получаемые из вспученного перлитового песка и глинистого связующего, — применяют для тепловой изоляции поверхностей промышленных печей и оборудования при температуре до 900°C. При плотности 250...400 кг/м³ теплопроводность их составляет 0,07...0,1 Вт/(м·°C). Перлитовые изделия на цементном связующем применяют для теплоизоляции промышленного оборудования с температурой эксплуатации до 600°C. Их производят в виде полуцилиндров, сегментов и плит плотностью 250...350 кг/м³, теплопроводность при 325°C составляет 0,12...0,13 Вт/(м·°C).

● **Теплоизоляционные плиты из перлитопластбетона** являются конструктивно-теплоизоляционным изделием. Их используют в ограждающих конструкциях стен и кровель типа «сэндвич», а также при полистовой сборке ограждающих конструкций с воздушной прослойкой и как плитный утеплитель. Перлитопластбетон изготавливают из вспенивающейся композиции, состоящей из фенолоформальдегидной смолы, вспученного перлитового песка, порофора и уротропина, которая отверждается при определенной температуре. Плиты облицовывают бумагой, фольгой, стеклотканью, самоклеящейся пленкой и т. д. Их производят размером 3000×100×50 мм, плотностью 100...150 кг/м³, с пределом прочности при сжатии 0,2...0,4 МПа, влажностью до 1%, водопоглощением не более 8% и теплопроводностью 0,035...0,04 Вт/(м·°C). Плиты из перлитопластбетона обладают повышенной огнестойкостью и прочностью, они могут применяться в качестве самонесущих конструкций.

● **Перлитогелевые изделия** используют для теплоизоляции поверхностей энергетического оборудования и трубопроводов при температуре до 650°C. Перлитогелевые плиты, скорлупы и сег-

менты получают из вспученного перлитового песка, обработанного серной кислотой, и тонкомолотой силикат-глыбы с добавкой кремнефтористого натрия. Изделия имеют плотность 200...250 кг/м³, теплопроводность 0,06 Вт/(м·°C) при 25°C и 0,11 Вт/(м·°C) при температуре 325°C.

● **Битумоперлитовые изделия** применяют (при температуре эксплуатации от -60 до +50°C) для тепловой изоляции конструктивных элементов зданий, для монолитной изоляции тепловых и холодильных установок, а также трубопроводов при их бесканальной прокладке. Разогретый до температуры 170...180°C битум подают в растворосмеситель и перемешивают с перлитовым песком в соотношении 1:6...1:9 (по объему). Из перемешанной горячей битумоперлитовой массы могут быть изготовлены скорлупы, сегменты или монолитная теплоизоляция трубопроводов. Плотность битумоперлитовых изделий составляет 300...450 кг/м³, теплопроводность 0,08...0,10 Вт/(м·°C) при 20°C.

ВСПУЧЕННЫЙ ВЕРМИКУЛИТ И ИЗДЕЛИЯ НА ЕГО ОСНОВЕ

● **Вспученный вермикулит получают ускоренным обжигом до вспучивания горной породы вермикулита из группы гидрослюд.** Вермикулит при нагревании до 1000...1100°C выделяет кристаллизационную воду и быстро вспучивается. Пары воды действуют перпендикулярно плоскостям спайности и раздвигают пластинки слюды, увеличивая первоначальный объем до 20 раз и более. Технология производства вспученного вермикулита состоит из следующих основных операций: дробления природного вермикулита и рассева его на фракции, подсушивания, обжига в шахтных или вращающихся печах и охлаждения. Вспученный вермикулит представляет собой пористый материал в виде чешуйчатых частиц золотисто-желтого цвета размером 5...15 мм, плотностью 80...150 кг/м³, а при более мелких зернах — 200...400 кг/м³. Теплопроводность при температуре до 100°C составляет 0,048...0,10 Вт/(м·°C). С повышением температуры до 400°C увеличивается теплопроводность до 0,14...0,18 Вт/(м·°C). Вспученный вермикулит при нагревании до 1100°C начинает разрушаться, а при 1300°C он плавится. Водопоглощение очень велико, оно может быть более 300% по массе. Вспученный вермикулит применяют в качестве теплоизоляционной засыпки при температуре изолируемых поверхностей до 900°C, для изготовления теплоизоляционных изделий, а также в качестве заполнителя для легких бетонов и для приготовления штукатурных огнезащитных, теплоизоляционных и звукопоглощающих растворов.

● **Цементно-вермикулитовые плиты М300** используют для тепловой изоляции ограждающих конструкций гражданских и промышленных зданий и сооружений. Изготавливают их из вспученного вермикулита на вяжущем портландцементе. Цементно-вермикулитовые плиты имеют размеры 500×500×100 мм, небольшую

теплопроводность — до $0,08 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$, плотность до $300 \text{ кг}/\text{м}^3$, предел прочности при сжатии $0,5 \text{ МПа}$. Технология производства плит состоит из смешения вспученного вермикулита с цементным молоком, формования плит прессованием с последующей их тепловой обработкой.

● **Керамовермикулитовые плиты М350** применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, горячих поверхностей печных и других тепловых агрегатов и оборудования. Плиты выпускают размером $500 \times 500 \times 125 \text{ мм}$, плотностью $350 \text{ кг}/\text{м}^3$, теплопроводностью до $0,08 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$. Их можно использовать при температуре до 1200°С . Производство плит состоит из смешения вспученного вермикулита со шликером, приготовленным из смеси огнеупорной глины и воды. Формовочная масса подается на ленточный пресс, а отформованные изделия направляются на сушку и обжиг.

АСБЕСТСОДЕРЖАЩИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

● **Основным сырьем для производства асбестосодержащих теплоизоляционных материалов и изделий является хризотил-асбест.** На основе асбеста изготовляют сыпучие (порошкообразные) материалы, а также рулонные и штучные материалы и изделия в виде картона, плит, скорлуп и сегментов. В зависимости от состава асбестовые материалы делят на асбестовые, состоящие только из асбестового волокна, и асбестосодержащие.

● **Асбестовый картон** — огнестойкий теплоизоляционный материал, получаемый на основе хризотилового асбеста. Исходными материалами для получения картона являются асбест 4-го и 5-го сортов (65%), каолин (30%) и крахмал (5%). При производстве картона асбест подвергают распушке на бегунах и в голлендере, куда одновременно добавляют каолин и крахмал. Из голлендера полученная масса поступает в смеситель, откуда после предварительной очистки от частиц пустой породы и скатавшихся в комочки волокон асбеста ее направляют на сетчатый барабан картоноделательной машины (носит название папмашины). На этом барабана откладываются волокна асбеста, образующие листы рыхлого асбестового картона. Для уплотнения их спрессовывают на гидравлическом прессе под давлением до 5 МПа . Уплотненные листы картона высушивают, а затем обрезают по стандартным размерам. Асбестовый картон изготовляют на листоформовочных машинах в виде листов длиной и шириной $900 \dots 1000 \text{ мм}$ и толщиной $2 \dots 10 \text{ мм}$. Теплопроводность картона в сухом состоянии $0,157 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$, плотность $1000 \dots 1400 \text{ кг}/\text{м}^3$, предел прочности при растяжении не менее $0,6 \text{ МПа}$, влажность не более 3% по массе.

● **Асбестовый шнур** применяют для теплоизоляции поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре: при наличии в составе органического волокна — до 200°С , при

отсутствии его — до 500°С . Получают его из нескольких крученых нитей или ровницы, сложенных вместе в сердечнике и обвитых или оплетенных снаружи асбестовой нитью или пряжей. Асбестовый шнур может изготавливаться и без оплетения. Диаметр асбестовых шнуров может быть $3 \dots 25 \text{ мм}$. Теплопроводность не более $0,12 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$, влажность не более 4% по массе. По плотности в сухом состоянии асбестовый шнур делят на марки от 100 до 380.

● **Асбестомagneзиальный порошок** используют для тепловой изоляции поверхностей промышленного оборудования при температуре до 350°С . Получают его путем смешения измельченного асбеста с водной углекислой солью магния. Для получения ньювелля магнезий размалывают и смешивают с 15% асбеста. Этот теплоизоляционный материал выпускают в виде порошка, который используют не только в виде засыпной теплоизоляции, но и для приготовления мастики и изготовлении плит, скорлуп и сегментов. Отформованные и высушенные изделия имеют плотность до $350 \text{ кг}/\text{м}^3$, теплопроводность $0,08 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$ при 50°С и предел прочности при изгибе не менее $0,15 \text{ МПа}$.

● **Известково-кремнеземистые теплоизоляционные изделия** изготовляют путем формования и последующей автоклавной обработки водной суспензии тонкоизмельченной смеси извести, кремнеземистого материала (диатомита, трепела или кварцевого песка) и асбеста хризотилового 5-го и 6-го сортов. Известково-кремнеземистые изделия выпускают в виде плит прямоугольного сечения (ППС) размером $1000 \times 500 \times 75,1 \text{ мм}$, плит трапециевидального сечения (ПТС); полуцилиндров (Ц) с внутренним диаметром от $112 \dots 280 \text{ мм}$ и длиной 1000 мм и сегментов длиной 1000 мм . Известково-кремнеземистые изделия в зависимости от плотности производят двух марок: Д 200 и 225; их применяют для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей до 600°С .

● **Совелитовые материалы и изделия** применяют для теплоизоляции поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до 500°С . Состоят они из легких углекислых солей магния и кальция, получаемых переработкой каустического доломита и асбеста. Для производства совелита обычно применяют асбест 5...6-го сортов. Технология производства совелита состоит из следующих процессов: распушки асбеста, смешивания его с каустическим магнезитом и проваривания массы в варочных чанах. Полученную массу отфильтровывают, и последняя приобретает вид пасты с влажностью около 70...75%, которая может быть использована для монтажа мастичных теплоизоляционных конструкций или для формования плит, скорлуп и сегментов. Формование изделий производят вакуум-фильтрованием или прессованием, для чего массу поддают на гидравлический пресс, где она прессуется при давлении $0,16 \dots 0,18 \text{ МПа}$. Прессованные плиты имеют влажность 66...70%. При вакуум-фильтровании масса из варочных чанов поступает на вакуум-

фильтры, которые приспособлены для формования плит. Масса на них формируется в блоки, которые после сушки распиливаются на плиты. Получаемые этим способом плиты отличаются пористостью, но вместе с тем и повышенной влажностью (до 75%). Свежесформованные изделия направляют в сушилку с температурой 200°C. После сушки блоки распиливают на плиты размером 500×170×(30...60) мм. По плотности в сухом состоянии плиты имеют марки Д350 и 400 с пределом прочности при изгибе соответственно не менее 0,17 и 0,2 МПа, теплопроводность в сухом состоянии не более 0,075...0,86 Вт/(м·°C), влажность не более 15% по массе.

● **Теплоизоляционные ячеистые бетоны** (плотностью 500 кг/м³ и менее) применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до 400°C. Теплоизоляционные изделия из ячеистых бетонов изготавливают в виде плит размером 1000×500×(80...200) мм. По плотности в сухом состоянии они имеют марки Д300...500, классы по прочности на сжатие В5...10, теплопроводность в сухом состоянии 0,08...0,11 Вт/(м·°C), влажность не более 15% по массе.

Нами рассмотрены основные и наиболее характерные неорганические теплоизоляционные материалы. Наряду с ними имеется обширная номенклатура теплоизоляционных материалов в виде композиционных смесей.

§ 13.4. Органические теплоизоляционные материалы и изделия

● **Органические теплоизоляционные материалы и изделия** производят из различного растительного сырья: отходов древесины (стружек, опилок, горбыля и др.), камыша, торфа, очесов льна, конопли, из шерсти животных, а также на основе полимеров.

Многие органические теплоизоляционные материалы подвержены быстрому загниванию, порче различными насекомыми и способны к возгоранию, поэтому их предварительно подвергают обработке. Поскольку использование органических материалов в качестве засыпок малоэффективно в силу неизбежной осадки и способности к загниванию, последние используют в качестве сырья для изготовления плит. В плитах основной материал почти полностью защищен от увлажнения, а следовательно, и от загнивания; кроме того, в процессе производства плит его подвергают обработке антисептиками и антипиренами, повышающими его долговечность.

● **Теплоизоляционные материалы и изделия из органического сырья.** Среди большого разнообразия теплоизоляционных изделий из органического сырья наибольший интерес представляют плиты древесноволокнистые, камышитовые, фибролитовые, торфяные, пробковая теплоизоляция натуральная, а также теплоизоляционные пенопласты.

Древесноволокнистые плиты применяют для тепло- и звукоизоляции ограждающих конструкций. Изготавливают их из распиленной древесины или иных растительных волокон — неделовой древесины, отходов лесоперерабатывающей промышленности, костры, соломы, камыша, хлопчатника. Наибольшее распространение получили древесноволокнистые плиты, получаемые из отходов древесины, которые изготавливают путем горячего прессования волокнистой массы, состоящей из древесных волокон, воды, наполнителей, полимера и добавок (антисептиков, антипиренов, гидрофобизирующих веществ). Для изготовления изоляционных плит применяют отливочную машину, снабженную бесконечной металлической сеткой и вакуумной установкой, где масса обезвоживается, уплотняется и разрезается на плиты необходимых размеров. Древесноволокнистые плиты выпускают пяти видов: сверхтвердые, твердые, полутвердые, изоляционно-отделочные и изоляционные. Изоляционные древесноволокнистые плиты имеют длину 1200...3600 мм, ширину 1000...2800 мм и толщину 8...25 мм, плотность 250 кг/м³, предел прочности при изгибе 1,2 МПа и теплопроводность не более 0,07 Вт/(м·°C).

Наряду с изоляционными применяют плиты изоляционно-отделочные с лицевой поверхностью, окрашенной или подготовленной к окраске.

Камышитовые плиты, или просто камышит, применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций малоэтажных жилых домов, небольших производственных помещений, в сельскохозяйственном строительстве. Это теплоизоляционный материал в виде плит, спрессованных из стеблей камыша, которые затем скрепляются стальной оцинкованной проволокой. Для изготовления камышитовых плит используют зрелые однолетние стебли диаметром 7...15 мм. Заготовку стеблей следует делать в осенне-зимний период. Прессование плит осуществляют на специальных прессах. В зависимости от расположения стеблей камыша различают плиты с поперечным (вдоль короткой стороны плиты) и продольным расположением стеблей. Плиты выпускают длиной 2400×2800 мм, шириной 550...1500 мм и толщиной 30...100 мм, марками по плотности Д175, 200 и 250, с пределом прочности при изгибе не менее 0,18...0,5 МПа, теплопроводностью 0,06...0,09 Вт/(м·°C), влажностью не более 18% по массе.

Торфяные теплоизоляционные изделия изготавливают в виде плит, скорлуп и сегментов и используют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий III класса и поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре от -60 до +100°C. Сырьем для их производства служит мало-разложившийся верховой торф, имеющий волокнистую структуру, что благоприятствует получению из него качественных изделий путем прессования. Плиты изготавливают размером 1000×500×30 мм путем прессования в металлических формах с последующей сушкой при температуре 120...150°C. В зависимости от начальной влажности торфяной массы различают два

способа изготовления плит: мокрый (влажность 90...95%) и сухой (влажность около 35%). При мокром способе излишняя влага в период прессования отжимается из торфяной массы через мелкие металлические сетки. При сухом способе такие сетки в формы не закладываются. Торфяные изоляционные плиты по плотности делят на марки Д170 и 220 с пределом прочности при изгибе 0,3 МПа, теплопроводностью в сухом состоянии 0,6 Вт/(м·°С), влажностью не более 15%.

Цементно-фибролитовые плиты представляют собой теплоизоляционный материал, полученный из затвердевшей смеси портландцемента, воды и древесной шерсти. Древесная шерсть выполняет в фибролите роль армирующего каркаса. По внешнему виду тонкие древесные стружки длиной до 500 мм, шириной 4...7 мм, толщиной 0,25...0,5 мм готовят из неделовой древесины хвойных пород на специальных древесношерстных станках. Шерсть предварительно высушивают, пропитывают минерализаторами (хлористым кальцием, жидким стеклом) и смешивают с цементным тестом по мокрому способу или с цементом по сухому (древесная шерсть посыпается или опыляется цементом) в смесительных машинах различного типа. При этом следят, чтобы древесная шерсть была равномерно покрыта цементом. Формуют плиты двумя способами: прессованием и на конвейерах, где фибролит формуют в виде непрерывно движущейся ленты, которую затем разрезают на отдельные плиты (подобно вибропрокату железобетонных изделий). При прессовании плит удельное давление для теплоизоляционного фибролита принимают до 0,1 МПа, а для конструктивного — до 0,4 МПа. После формования плиты пропаривают в течение 24 ч при температуре 30...35°С. Цементно-фибролитовые плиты выпускают длиной 2400...3000 мм, шириной 600...1200 мм, толщиной 30, 50, 75, 100 и 150 мм. Цементный фибролит выпускают трех марок по плотности: Ф300, 400 и 500, теплопроводностью 0,09...0,15 Вт/(м·°С), водопоглощением не более 20%. Фибролитовые плиты марки Ф300 применяют в качестве теплоизоляционного материала, марки Ф400 и 500 — конструктивно-теплоизоляционного материала для стен, перегородок, перекрытий и покрытий зданий.

Арболитовые плиты получают также формованием и тепловой обработкой (или без нее) органического коротковолнистого сырья (дробленной станочной стружки или щепы, сечки соломы или камыша, опилок, костры и др.), обработанного раствором минерализатора. Химическими добавками служат хлорид кальция, растворимое стекло, сернокислый глинозем. Вторым компонентом при изготовлении арболитовых плит является портландцемент. Плиты формуют длиной и шириной 500, 600 и 700 мм, толщиной 50, 60 и 70 мм. Плотность в сухом состоянии составляет 500 кг/м³, прочность на сжатие 0,3...3,5 МПа, предел прочности при изгибе не менее 0,4 МПа, теплопроводность в сухом состоянии не более 0,12 Вт/(м·°С), влажность не более 20% по массе.

Цементно-стружечные плиты отечественная промышленность производит двух марок: ЦСП-1 и ЦСП-2. Плиты изготавливают путем прессования древесных частиц с цементным вяжущим и химическими добавками. ЦСП относятся к группе трудносгораемых материалов повышенной биостойкости. Их производят длиной 3200...3600 мм, шириной 1200, 1250 и толщиной 8...10, 12...16, 18...28 и 30...40 мм с шлифованной и нешлифованной поверхностью. ЦСП выпускают плотностью 1100...1400 кг/м³, влажностью до 9%, водопоглощением за 24 ч не более 16% и разбуханием по толщине не более 2%. Плиты имеют достаточно высокую прочность на изгиб, для плит толщиной 8...16 мм она составляет 9...12 МПа, а для плит толщиной 26...40 мм — 7...9 МПа, теплопроводность — 0,26 Вт/(м·°С). ЦСП применяют в стеновых панелях, плитах покрытий, в элементах подвесных потолков, вентиляционных коробах, при устройстве полов, в качестве подоконных досок, обшивок, облицовочных и других строительных изделий.

Пробковые теплоизоляционные материалы и изделия (плиты, скорлупы и сегменты) применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, холодильников и поверхностей холодильного оборудования, трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей от —150 до +70°С, для изоляции корпуса кораблей. Изготавливают их путем прессования измельченной пробковой крошки, которую получают как отход при производстве закупорочных пробок из коры пробкового дуба или так называемого бархатного дерева. Пробка вследствие высокой пористости и наличия смолистых веществ является одним из наилучших теплоизоляционных материалов и служит для производства плит, скорлуп и сегментов.

● **Теплоизоляционные пенопласты** в виде газонаполненных пластмасс, а также минераловатных и стекловатных изделий изготавливают на полимерном связующем. По физической структуре газонаполненные пластмассы могут быть разделены на три группы: ячеистые или пенистые (пенопласты), пористые (поропласты) и сотовые (сотопласты). Пенопласты и сотопласты на основе полимеров являются не только теплоизоляционным, но и конструктивным материалом (см. гл. 15). Теплоизоляционные материалы из пластмасс по виду применяемых для их изготовления полимеров делят: на полистирольные — пористые пластмассы на основе суспензионного (бисерного) или эмульсионного полистирола; поливинилхлоридные — пористые пластмассы на основе поливинилхлорида; фенольные — пористые пластмассы на основе формальдегида.

Поризация полимеров основана на применении специальных веществ, интенсивно выделяющих газы и вспучивающих размельченный при нагревании полимер. Такие вспучивающиеся вещества могут быть твердыми, жидкими и газообразными. К твердым вспенивающим веществам, имеющим наибольшее практическое значение, относятся карбонаты, бикарбонаты натрия и аммония,

выделяющие при разложении CO_2 и NH_3 . К жидким вспенивающим веществам относятся бензол, легкие фракции бензола, спирт и т. п. К газообразным вспенивающим веществам относятся воздух, азот, углекислый газ, аммиак. Для придания эластичности пористым пластмассам в полимеры вводят пластификаторы — фосфаты, фталаты и др.

Пористые и ячеистые пластмассы можно получать двумя способами: прессовым и беспрессовым. При изготовлении пористых пластмасс прессовым способом тонкоизмельченный порошок полимера с газообразователем и другими добавками спрессовывается под давлением 15...16 МПа, после чего взятую навеску (обычно 2...2,5 кг) вспенивают, в результате чего получают материал ячеистого строения.

При изготовлении пористых пластмасс беспрессовым способом полимер с добавками газообразователя, отвердителя и других компонентов нагревают в формах до соответствующей температуры. От нагревания полимер расплавляется, газообразователь разлагается и выделяющийся газ вспенивает полимер. Образуется материал ячеистого строения с равномерно распределенными в нем мелкими порами.

Плиты, скорлупы и сегменты из пористых пластмасс применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до 70°C .

Изделия из пористых пластмасс на суспензионном полистироле по плотности в сухом состоянии делят на марки Д25 и 35 с пределом прочности при изгибе не менее 0,1...0,2 МПа, теплопроводностью 0,04 Вт/(м·°C), влажностью не более 2% по массе. Такие же изделия на эмульсионном полистироле по плотности имеют марки Д50...200, предел прочности при изгибе не менее 1,0...7,5 МПа, теплопроводность не более 0,04...0,05 Вт/(м·°C), влажность не более 1% по массе. Плиты из пористых пластмасс изготавливают длиной 500...1000 мм, шириной 400...700 мм, толщиной 25...80 мм.

Наиболее распространенными теплоизоляционными материалами из пластмасс являются полистирольный поропласт, мипора и др.

Полистирольный поропласт — отличный утеплитель в слоистых панелях, хорошо сочетающийся с алюминием, асбестоцементом и стеклопластиком. Широко применяется как изоляционный материал в холодильной промышленности, судостроении и вагоностроении для изоляции стен, потолков и крыш в строительстве. Полистирольный поропласт, изготовленный из бисерного (суспензионного) полистирола, представляет собой материал, состоящий из тонкоячеистых сферических частиц, спекшихся между собой. Между частицами имеются пустоты различных размеров. Наиболее ценными свойствами полистирольного поропласта являются его низкая плотность и малая теплопроводность. Полистирольный поропласт выпускают в виде плит или различных фасонных

изделий, его производят плотностью до 60 кг/м^3 , прочностью при 10%-ном сжатии до 0,25 МПа и теплопроводностью 0,03...0,04 Вт/(м·°C). Наиболее распространенный размер плит $1200 \times 1000 \times 100(50)$ мм.

Поропласт полиуретановый применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до 100°C . Получают его из полиэфирных полимеров введением поробразующих и других добавок. Полиэфирные полимеры — это большая группа искусственных полимеров, получаемых с помощью конденсации многоатомных спиртов (гликоля, глицерина, пентаэритрита и др.) и главным образом двухосновных кислот — фталевой, малеиновой и др. По плотности в сухом состоянии маты из пористого полиуретана делят на марки Д35 и 50, теплопроводность их в сухом состоянии 0,04 Вт/(м·°C), влажность не более 1% по массе. На основе пористого полиуретана выпускают также твердые и мягкие плиты плотностью 30...150 кг/м^3 и теплопроводностью 0,022...0,03 Вт/(м·°C). Маты из пористого полиуретана изготавливают в виде плит длиной 2000 мм, шириной 1000 мм, толщиной 30...60 мм.

Мипора представляет собой пористый материал, получаемый на основе мочевиноформальдегидного полимера. Сырьем для производства мипоры является мочевиноформальдегидный полимер и 10%-ный раствор сульфанофтеновых кислот (контакт Петрова), а также огнезащитные добавки (раствор фосфорнокислого аммония 20%-ной концентрации). Мипору применяют для теплоизоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до 70°C . Для получения мипоры в аппарат с мешалкой загружают водный раствор мочевиноформальдегидного полимера и вспениватель, которые энергично перемешивают. Полученную пену спускают в металлические формы, которые направляют в камеры, где масса при температуре 18...22°C отвердевает за 3...4 ч. Полученные блоки направляют на 60...80 ч в сушилку с температурой 30...50°C. Мипору выпускают в виде блоков объемом не менее 0,005 м^3 , пределом прочности при сжатии 0,5...0,7 МПа, удельной ударной вязкостью 400 МПа, водопоглощением 0,11% за 24 ч, теплопроводностью 0,03 Вт/(м·°C).

13. Б. АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

● Под звуком понимают волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц упругой среды (воздуха, воды, твердого тела). Частотный диапазон звуков, слышимых человеческим ухом, лежит в пределах от 15 до 20 000 Гц (1 Гц — 1 кол/с). Волны с меньшими и большими частотами человеческим ухом не воспринимаются. Звуки могут быть разделены на музыкальные, шумы и звуковые импульсы.

Количество энергии, приносимое звуковой волной ежесекунд-

но через площадку в 1 см^2 перпендикулярно направлению распространения волны, называется силой звука. Сила звука пропорциональна квадрату амплитуды колебаний частиц среды, а также квадрату амплитуды колебаний давления в звуковой волне. Сила звука выражается в децибелах, а физиологической характеристикой его служит уровень громкости звука, выражаемый в фонах. Скорость распространения звука в воздухе 340 м/с при 15°С .

● **Шум** — совокупность многочисленных звуков, быстро меняющихся по частоте и силе. Шумы по своему характеру могут быть слышимые и неслышимые, воздушные и ударные. Длительное воздействие слышимого шума на органы слуха и особенно высокочастотного вредно для здоровья человека.

Уровень шума значительно снижается, если на основе методов архитектурной акустики приняты правильные конструктивные и отделочные решения помещений. Архитектурная акустика — раздел строительной физики, рассматривающий звуковые процессы в помещении. Наряду с этой областью науки различают строительную акустику, рассматривающую вопросы звукоизоляции ограждающих конструкций зданий от воздушного и ударного шумов; вопросы снижения уровня этих шумов решают различными методами.

Звуковая энергия, падающая на ограждающую конструкцию (пол, стену, потолок), частично отражается от ее поверхности, частично поглощается материалом конструкции, а частично проходит через нее и передается на другую сторону конструкции. Способность материала пропускать через себя звук характеризует его звукопроницаемость или, если пользоваться обратным понятием, звукоизоляцию. Звукоизоляционная способность материала в ограждении оценивается по разности уровней звука с обеих сторон ограждения и выражается в децибелах. Материалы, обладающие преимущественным свойством поглощать звуковую энергию, относятся к звукопоглощающим, а материалы, способные изолировать от проникновения звука, — к звукоизоляционным. Все они имеют общее название — акустические материалы.

Звукопоглощающие и звукоизоляционные строительные материалы и изделия классифицируют по следующим основным признакам: назначению, форме, жесткости (величине относительного сжатия), возгораемости и структуре.

§ 13.5. Звукоизоляционные материалы и изделия

● Звукоизоляционные материалы и изделия применяют главным образом в виде прокладок и прослоек в перекрытиях, во внутренних и наружных ограждениях и других частях зданий с целью гашения ударных шумов, передаваемых через перекрытие (хождение по полу), вибрации (работы машин) и т. п.

Звукоизоляционные материалы в строительных конструкциях могут находиться в свободном (не сжатом), подвешенном

(например, крепление плит к потолку с воздушной прослойкой) или сжатом состоянии (например, между несущими панелями потолка и конструкцией пола). Звукоизоляционные материалы, находящиеся в свободном и рыхлом состоянии, применяются для изоляции от воздушного шума, а сжатые — от ударного шума. Для звукоизоляционных материалов, применяемых в свободном состоянии (в конструкциях стен, перекрытий), толщина их не должна превышать 5 см , а в сжатом состоянии (например, в перекрытиях под полом) — не менее $1,2 \text{ см}$.

Звукоизоляционные материалы бывают пористо-волокнистой структуры (на основе минеральной или стеклянной ваты, асбестового и другого вида волокон), пористо-губчатой (на основе пластмасс и различного вида резины) и сыпучие естественного и искусственного происхождения (песок, шлак и др.). Первые имеют форму плит, рулонов, матов, полосовых и штучных прокладок. По величине относительно сжатия под нагрузкой различают звукоизоляционные материалы твердые, жесткие, полужесткие и мягкие.

Основной расчетной характеристикой, по которой определяют условия применения их в конструкциях, является динамический модуль упругости. По этой величине звукоизоляционные материалы делят на три группы: 1-я группа — материалы с динамическим модулем упругости меньше 1 МПа ; 2-я группа — $1...5 \text{ МПа}$ и 3-я группа — $5...15 \text{ МПа}$. Звукоизоляционные материалы 1-й группы применяют в виде плит, рулонов и матов, уложенных сплошным слоем в конструкциях перекрытий с «плавающим» полом, а также многослойных перекрытий, стен и перегородок для звукоизоляции от воздушного и ударного шума. Звукоизоляционные материалы 2-й группы используют в виде полосовых и штучных прокладок в конструкциях междуэтажных перекрытий с «плавающим» полом и в многослойных перекрытиях для изоляции от ударного шума. Звукоизоляционные материалы 3-й группы используют в виде засыпок в многослойных конструкциях междуэтажных перекрытий для улучшения изоляции от ударного и воздушного звука.

Звукоизоляционные материалы плотностью до 200 кг/м^3 делят на марки от 15 до 200, материалы с плотностью выше 200 кг/м^3 по этому признаку не маркируют. Указанным требованиям удовлетворяют звукоизоляционные материалы и изделия пористо-волокнистой и пористо-губчатой структуры.

Для гашения и локализации вибраций применяют вибропоглощающие материалы — поливинилхлоридные и полиэтиленовые жесткие и мягкие листовые материалы, листовую резину, битумные и полимерные мастики, в том числе каучуковые, поливинилацетатные, эпоксидные и др. К звукоизоляционным относятся главным образом эластичные материалы: маты и плиты полужесткие минераловатные на синтетическом связующем; плиты, маты и рулоны из стеклянного штапельного волокна; плиты древесноволокнистые изоляционные; плиты из полистироль-

ного пластифицированного пенопласта; плиты фибролитовые на портландцементе; песок речной, шлак топливный или металлургический и крошка из пробки.

Стекловатные и минераловатные маты и плиты на синтетическом связующем имеют плотность 50...225 кг/м³, относительное сжатие 15...40% при нагрузке 0,02 МПа и динамический модуль упругости 0,3...0,7 МПа.

Древесноволокнистые и фибролитовые плиты на портландцементе применяют в конструкциях перекрытий под полами для изоляции от ударного шума, они имеют относительное сжатие при той же нагрузке до 1,5%, а динамический модуль упругости — 1,0...1,8 МПа.

Плиты из полистирольного эластифицированного пенопласта марки ПСБ-Э изготавливают плотностью 20...35 кг/м³ с динамическим модулем упругости 0,8...1,0 МПа.

Указанные изделия обеспечивают звукоизоляцию железобетонных междуэтажных перекрытий, равную 35...40 дБ. Такая изоляция отвечает нормам проектирования.

Основным сырьем для производства новых акустических плит служат минеральная вата, стеклянное штапельное волокно, крахмал, литопон, поливинилацетатная эмульсия и др. Технологический процесс изготовления плит состоит из рыхления и грануляции минеральной ваты, смешивания полученных гранул со связующим, формования плит, сушки и механической обработки, окраски и упаковки.

Звукоизоляционно-прокладочные материалы применяют для сплошных прокладок под полы (маты и плиты минераловатные и стекловатные, плиты древесноволокнистые изоляционные), для полосовых прокладок в конструкциях перекрытий обычного типа (плиты древесноволокнистые, асбестоцементные) и раздельного типа (пакеты из асбестового картона).

§ 13.6. Звукопоглощающие материалы и изделия

● Звукопоглощающими называют материалы, применяемые для внутренней отделки помещений с целью улучшения акустических свойств последних. Основной целью применения звукопоглощающих материалов является снижение слышимых шумов в промышленных и общественных зданиях.

Звукопоглощающие материалы способны обеспечивать требуемую продолжительность реверберации в помещениях различного назначения, причем коэффициент звукопоглощения, измеренный в диффузном поле (в реверберационной камере при непосредственном размещении материала или изделия на жестком основании) в частотных полосах 125...500, 500...2000 и 2000...8000 соответственно не ниже 0,2; 0,4 и 0,6. Под реверберацией понимают наличие постепенно затухающего в закрытом помещении звука вследствие повторных отражений после прекращения звучания.

Время реверберации в зависимости от вида помещений и частот составляет 0,2...2 с.

Звукопоглощающие материалы применяют для равномерного распределения уровней полезного сигнала по площади в данном помещении, а также для предотвращения распространения звука вдоль длинных помещений.

По характеру поглощения звука звукопоглощающие материалы делят: на *пористые с твердым скелетом*, в которых звук поглощается в результате вязкого трения в порах, при этом звуковая энергия переходит в тепло (пеностекло, газобетон и другие пористые материалы с твердым скелетом); *пористые с гибким скелетом*, в которых кроме резкого трения в порах возникают релаксационные потери, связанные с деформацией нежесткого скелета (минеральная, скелетная, базальтовая и хлопковая ваты; древесноволокнистые плиты и другие аналогичные по характеру материалы); *панельные материалы и конструкции*, звукопоглощение которых обусловлено активным сопротивлением системы, совершающей вынужденные колебания под действием падающей звуковой волны (тонкие панели из фанеры, жесткие древесноволокнистые плиты, звуконепроницаемые ткани и т. п.). Звукопоглощение пористых материалов можно увеличить также посредством устройства воздушного слоя между ограждающей конструкцией и ими.

По структуре различают звукопоглощающие материалы: *пористо-зернистые*, *пористо-волокнистые* и *пористо-губчатые*, а по степени твердости скелета их делят на *мягкие*, *полужесткие*, *жесткие* и *твердые*. В зависимости от вида звукопоглощающих материалы бывают в виде *плит*, *рулонов* и *сыпучих материалов*; их используют также в виде *штукатурки*, имеющей гладкопористую структуру, перфорированную и бороздчатую.

В ограждающих конструкциях звукопоглощающие материалы применяют в виде однослойного однородного материала с офактуренной поверхностью, многослойного пористо-волокнистого с жестким перфорированным покрытием, а также в виде штучных материалов разнообразных размеров и формы, однослойных и многослойных.

● Из конструкций без защитной оболочки наиболее распространены минераловатные акустические плиты на синтетическом связующем типа ПА/С, ПА/О и ПА/Д; плиты из гранулированной минеральной ваты на крахмальном связующем; плиты из штапельного стеклянного волокна типа ПС и ПЖС; базальтовые звукопоглощающие маты марки БЗМ; древесноволокнистые плиты с перфорацией; гипсовые плиты, армированные стекловолокном со сквозной перфорацией; плиты из ячеистого бетона типа «Силапор» с пористой структурой и перфорацией лицевого слоя; плиты из газосиликата и др.

● Звукопоглощающие материалы с защитными оболочками применяют в ограждающих конструкциях. Это минераловатные полужесткие плиты марок ПП, ППМ на синтетическом связу-

ющем; минераловатные маты прошивные на металлической сетке; маты из штапельного стеклянного волокна на синтетическом связующем; маты из супертонких стеклянных волокон, а также холсты и маты из перепутанных супертонких базальтовых волокон. В строительстве общественных зданий успешно используют защитные оболочки и экраны, которые изготавливают из стеклянного или капронового волокна, гипсовых перфорированных плит, с тыльной стороны оклеенных технической бязью.

Толщина защитных перфорированных покрытий для звукопоглощающих материалов и изделий I класса в диапазоне средних (с) и высоких (в) частот не должна превышать 1,5 мм, а для изделий всех классов в диапазоне низких частот (н) — не должна превышать 10 мм.

В ряде случаев в качестве звукопоглощающих материалов применяют древесностружечные плиты, акустическую штукатурку с заполнителем из обожженной каолиновой корки или перлитового песка.

● **Минераловатные акустические плиты ПА/С, ПА/О и ПА/Д** изготавливают из минерального волокна путем пропитки его синтетическим связующим с последующей тепловлажностной обработкой в специальных камерах. Полученные заготовки подвергают механической обработке, после чего на них наносят декоративный покровный слой. Указанные плиты выпускают размером $500 \times 500 \times 20$ мм, плотностью $130...140 \text{ кг/м}^3$ и пределом прочности на разрыв до 0,4 МПа, коэффициентом звукопоглощения 0,4...0,87 в интервале частот от 500 до 2000 Гц. Хорошие декоративные качества минераловатных акустических плит позволяют широко использовать их для облицовки потолков, вестибюлей театров, концертных залов, радиостудий и помещений со значительным шумовыделением.

● **Плиты «Акминит» и «Акмигран»** — акустические материалы, изготавливаемые на основе гранулированной минеральной ваты и композиций крахмального связующего с добавками. Плиты выпускают размером $300 \times 300 \times 20$ мм, плотностью $350...400 \text{ кг/м}^3$ и пределом прочности при изгибе 0,7...1,0 МПа, с высоким коэффициентом звукопоглощения — до 0,8. Указанные плиты предназначены для звукопоглощающей отделки потолков и верхней части стен помещений общественных и административных зданий, эксплуатируемых с относительной влажностью воздуха не более 70%. Лицевая поверхность плит имеет фактуру в виде направленных трещин (каверн), подобно фактуре поверхности выветрившегося известняка. Крепление плит к перекрытию осуществляется с помощью металлических профилей, их можно также приклеивать специальными мастиками непосредственно к жесткой поверхности.

Своеобразная фактура и широкая гамма цветов вносят разнообразие в интерьеры помещений при массовом применении декоративных акустических плит «Силапор» и плит из газосиликатов.

● **Плиты «Силапор»** изготавливают из легковесного газобетона специальной структуры плотностью $300...350 \text{ кг/м}^3$. Лицевая поверхность плит может иметь продольную щелевую перфорацию, что придает ей не только лучший вид, но и повышенную способность к поглощению шума. Коэффициент звукопоглощения плит «Силапор» в диапазоне частот от 200 до 4000 Гц составляет 0,3...0,8.

● **Плиты из газосиликата** обладают хорошими эксплуатационными и архитектурно-строительными свойствами и представляют особую группу звукопоглощающих материалов, в том числе с макропористой структурой. Из газосиликата изготавливают плиты размером $750 \times 350 \times 25$ мм, плотностью $500...600 \text{ кг/м}^3$ и пределом прочности при сжатии 1,5...2,0 МПа, коэффициентом звукопоглощения в диапазоне частот от 500 до 4000 Гц для микропористых плит 0,2...0,3, а для макропористых 0,6...0,9. Технологический процесс производства плит состоит из смешения сырьевых материалов — извести, песка и красителя; заливки приготовленного раствора в формы и автоклавной обработки, после чего изделия фрезеруют и калибруют. Хорошим внешним видом, достаточной огнестойкостью и высокими звукопоглощающими свойствами обладают акустические перфорированные плиты из сухой штукатурки и гипсовые перфорированные плиты с минераловатным звукопоглотителем. Их широко используют для внутренней отделки стен и потолков в культурно-бытовых и общественных зданиях.

● **Акустические экраны из сухой гипсовой штукатурки** получают методом штамповки. Сухую гипсовую штукатурку, разрезанную на плиты размером $1000 \times 500 \times 8$ мм, направляют на пресс-штамп для образования отверстий диаметром 6 и 10 мм. После штамповки экраны подают на шлифовальные станки для снятия шероховатостей, далее на конвейер для приклейки подстилающего слоя из ткани с одновременной подсушкой клея. Для облицовки стен и потолков помещений с относительной влажностью воздуха не более 70% экраны выпускают с минераловатным или стекловолоконным звукопоглотителем.

● **Акустические гипсовые перфорированные плиты с минераловатным звукопоглотителем** состоят из гипсовой скорлупы, армированной стекложгутом и стальной проволокой диаметром 0,8...1,2 мм, минеральной ваты ПП-80, вкладываемой в свободные секции гипсовой плиты и алюминиевой фольги, которая защищает вату от увлажнения. Плиты имеют коэффициент звукопоглощения до 0,7 при частотах звука 400...1500 Гц.

● **Асбестоцементные акустические экраны**, представляющие большой интерес, отличаются высокой механической прочностью (до 10 МПа), огнестойкостью; они долговечны и гигиеничны, обладают хорошими декоративными качествами и высоким коэффициентом звукопоглощения — 0,6...0,9. Асбестоцементные акустические плиты производят двух видов: перфорированные с круглыми или щелевыми сквозными отверстиями и с перфори-

рованными экранами из асбестоцемента с минераловатным звукопоглотителем.

Плиты и экраны применяют для облицовки подвесных потолков или стен с целью снижения уровня шума.

● **Перлитовые звукопоглощающие плиты** изготавливают на основе вспученного перлита на вяжущем из жидкого стекла или синтетических смол с добавкой пигментов для придания различной цветовой окраски. Перлитовые плиты производят размером $300 \times 300 \times 30$ мм, плотностью $250 \dots 500 \text{ кг/м}^3$, пределом прочности при изгибе $0,4 \dots 1,2 \text{ МПа}$, коэффициентом звукопоглощения до 0,7 в интервале частот от 500 до 2000 Гц. Применяют их для снижения уровня шума и создания хороших акустических условий в помещении.

§ 13.7. Экономика применения теплоизоляционных материалов и изделий

Применение теплоизоляционных материалов — одно из главных направлений технического прогресса в строительстве. Сравнивая эффективность различных теплоизоляционных материалов, можно произвести выбор наиболее экономичных из них:

$$P = P_1 \lambda,$$

где P — приведенные затраты на единицу термического сопротивления материала, руб.; P_1 — приведенные затраты на 1 м^3 теплоизоляционного материала, руб.; λ — теплопроводность, Вт/(м·°С).

В табл. 13.2 даны рассчитанные НИИЭС и НИИСФ показатели по взаимозаменяемым теплоизоляционным материалам.

Таблица 13.2. Перспективные технико-экономические показатели различных теплоизоляционных материалов

Наименование материалов	Затраты на единицу термического сопротивления с учетом потерь и сжимаемости, руб.		
	удельные капитальные вложения	себестоимость	приведенные затраты
Маты на синтетической связке М75...100	0,34...0,54	1,17...1,3	1,21...1,36
Плиты на синтетической связке М125...200	0,66...1,22	1,69...2,47	1,76...2,62
Плиты полужесткие на битумной связке М250...350	2,04...2,4	2,21...3,38	2,45...3,67
Плиты жесткие на битумной связке М300...400	2,4...3,0	3,51...4,68	3,8...5,04
Маты и плиты из стекловолокна (маты М30...50, плиты М50...70)	1,56...1,80	1,3...2,34	1,49...2,56

Наименование материалов	Затраты на единицу термического сопротивления с учетом потерь и сжимаемости, руб.		
	удельные капитальные вложения	себестоимость	приведенные затраты
Цементный фибролит М300...400	1,80	1,95...3,38	2,17...3,60
Древесноволокнистые плиты М250	1,92	1,75	1,98
Полистирольный пенопласт	0,72	4,55	4,74
Автоклавные ячеистые бетоны	3,24...3,48	2,08...2,34	2,47...2,76
Перлитокерамические материалы (плиты, скорлупы, сегменты)	2,64...3,12	1,82	2,14...2,19
Совелитовые жесткие изделия	5,4...6,6	1,95	2,6...2,74
Асбестовермикулитовые изделия	5,7	3,12	3,80

Около $2/3$ в общем выпуске теплоизоляционных материалов занимают минеральная вата и изделия на ее основе. Наиболее эффективны в строительстве изделия на синтетической связке. Производство сырой минеральной ваты как менее эффективного изделия должно соответственно сокращаться.

Значительную роль среди теплоизоляционных материалов играют древесноволокнистые, камышитовые и фибролитовые плиты, изготовление которых связано с использованием дешевого сырья. Производство этих плит необходимо увеличивать.

Применение полноразборных теплоизоляционных конструкций и изделий (скорлуп, цилиндров), заменяющих мастичную теплоизоляцию в виде штукатурки, — одно из главных направлений индустриализации теплоизоляционных работ. Благодаря этому снижаются затраты на устройство и ремонт изоляции и улучшается ее качество (табл. 13.3).

Таблица 13.3. Экономия трудовых затрат на монтаж 1 м^3 изоляции различной конструкции (по данным треста «Стройтермоизоляция»)

Наименование промышленных теплоизоляционных изделий	Наименование неиндустриальных изделий, взамен которых применяют промышленные изделия	Экономия затрат при применении промышленных материалов, %
Скорлупы минераловатные	Изоляция набивная минераловатная трубопроводов	76
Скорлупы совелитовые и вулканитовые	Изоляция трубопроводов сегментами	67
Офактуренные минераловатные скорлупы	Изоляция набивная трубопроводов	33

Продолжение табл. 13.3

Наименование промышленных теплоизоляционных изделий	Наименование неиндустриальных изделий, взамен которых применяются индустриальные изделия	Экономия затрат при применении индустриальных материалов, %
Перлитовые скорлупы	Изоляция трубопроводов сегментами	67
Минераловатные маты на синтетических связках	Изоляция набивная минераловатная плоскости	62
Минераловатные прошивные маты	То же	48
Плиты соеволитовые и вулканические	Изоляция мастичная плоскостей	16
Прочие изделия	Изоляция трубопроводов сегментами	60

Из табл. 13.3 следует, что применение готовых промышленных теплоизоляционных изделий взамен мастичной теплоизоляции позволяет снизить трудовые затраты на 35...75%.

Замена неиндустриальной конструкции из набивной минераловатной изоляции промышленными минераловатными матами на синтетических связках снижает общие затраты в среднем на 15...35%, а при индустриализации конструкций высокотемпературной изоляции (соеволит, вулканилит) экономия оказывается еще более значительной.

Стоимость изоляционных конструкций и трудовые затраты на их монтаж непосредственно зависят от уровня механизации рабочих процессов и организации работ. Широко применяемый в настоящее время метод предварительной изоляции технологического оборудования до установки его на рабочее место сокращает сроки строительства, повышает производительность труда изоляционных рабочих в 1,3...1,5 раза, улучшает качество работ и уменьшает стоимость изоляции в среднем на 10...15%.

ГЛАВА 14

ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ И МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ

14.А. БИТУМНЫЕ И ДЕГТЕВЫЕ ВЯЖУЩИЕ И БЕТОНЫ НА ИХ ОСНОВЕ

● Битумные и дегтевые вяжущие представляют сложные смеси высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных (соединений углеводородов с серой, кислородом, азотом), изменяющие свои физико-механические свойства в зависимости от температуры.

Битумные и дегтевые вяжущие делят на следующие группы: *битумные*, состоящие из нефтяных битумов или сплавов нефтяных и природных битумов; *дегтевые* — смесь каменноугольных и сланцевых дегтей или сплавов с дегтевыми маслами; *гудрокамые*, состоящие из продуктов совместного окисления каменноугольных масел и нефтяного гудрона; *дегтебитумно-полимерные*, содержащие нефтяные битумы или каменноугольные дегтевые вещества и полимеры (включая каучук).

Важнейшие свойства битумов и дегтей: гидрофобность, водонепроницаемость, стойкость против действия кислот, щелочей, агрессивных жидкостей и газов, способность прочно сцепляться с каменными материалами, деревом, металлом, приобретать пластичность при нагревании и быстро увеличивать вязкость при остывании.

Битумные и дегтевые вяжущие в промышленности строительных материалов и строительстве предназначаются: для приготовления асфальтовых бетонов, изготовления кровельных, гидроизоляционных и пароизоляционных материалов и изделий, гидроизоляционных и дорожных мастик, битумных эмульсий, кровельно-гидроизоляционных паст, а также устройства кровельных покрытий.

§ 14.1. Битумы

● Битумы представляют собой вещества, состоящие главным образом из смеси высокомолекулярных углеводородов, метанового, нафтенного и ароматического рядов и их кислородных и сернистых производных.

В зависимости от исходного сырья различают битумы *природные* и *искусственные нефтяные*. По *консистенции* (при температуре 18°C) битумы делят на *твердые*, *полутвердые* и *жидкие*; по преимущественному *назначению* — на *дорожные*, *строительные* и *кровельные*.

● **Природный битум** — органическое вещество черного или темно-коричневого цвета, при нагревании постепенно размягчается и переходит в жидкое состояние, а при охлаждении затвердевает. Природный битум нерастворим в воде, но легко растворяется в сероуглероде, хлороформе, бензоле и трудно в бензине. Структура природных битумов, их физико-химические и физико-механические свойства близки к нефтяным битумам.

Природный битум в чистом виде бывает редко. Чаще встречаются пропитанные битумом горные породы (известняки, доломиты, песчаники, грунт). Природный битум образовался из нефти в результате медленного удаления из нее легких и средних фракций, а также под влиянием процессов полимеризации и окисления. В верхние слои земной коры нефть попала в результате миграции, при этом под влиянием тепловых воздействий и давления на протяжении тысячелетий происходило заполнение пустот и пор горных пород и их пропитывание нефтью.

Природные битумы можно извлекать из битумных пород вываркой в котлах или растворением в органических растворителях (экстрагирование). Извлечение битума из асфальтовых пород целесообразно лишь в том случае, когда содержание его в породе составляет не менее 10—15%. Более экономичным является извлечение природного битума вываркой в воде, для чего асфальтовую породу измельчают до крупности 6...8 мм и загружают в котел с водой, подкисленной соляной кислотой. Воду в котле подогревают до кипения, при этом битум отделяется от породы и всплывает в виде пены. Этот битум переводят в отстойники для отделения от воды и минеральных примесей. Если битум имеет недостаточную вязкость, то его продувают перегретым паром или воздухом.

Битумные известняковые и доломитовые породы без извлечения битума используют в виде тонкого порошка (асфальтовый порошок) для получения асфальтовой мастики и асфальтовых бетонов.

● **Нефтяные битумы** являются продуктом переработки нефти и ее смолистых остатков. В зависимости от вязкости нефтяные битумы делят на твердые, полутвердые и жидкие, а в зависимости от способа переработки — на остаточные гудроны, окисленные, крекинговые и экстрактивные.

Остаточные гудроны получают при атмосферно-вакуумной перегонке высокосмолистой нефти после отбора бензина, керосина и масляных фракций. Они представляют собой черные твердые или почти твердые при нормальной температуре вещества темного или темно-коричневого цвета.

Окисленные битумы получают путем продувки воздуха через нефтяные остатки. В процессе производства окисленных битумов кислород воздуха реагирует с водородом, содержащимся в остатках, образуя водяные пары. Потеря водорода сопровождается уплотнением нефтяных остатков ввиду их полимеризации и сгущения.

Крекинговые битумы получают при крекинге (разложении при высокой температуре) нефти и нефтяных масел с целью получения большого выхода бензина. Продувка воздуха через эти остатки дает окисленные крекинговые битумы.

Нефтяные битумы в нагретом состоянии разливают в тару и после остывания направляют по назначению.

● **Свойства битумов.** Физико-механические свойства битумных материалов должны характеризовать материал с точки зрения его молекулярного строения, а также по совокупности свойств, присущих вязкому.

Битумы твердые и полутвердые делят на марки. В основу этого деления положены вязкость, пластичность и поведение битума при изменении температуры.

Вязкость — свойство материала оказывать сопротивление перемещению частиц под воздействием внешних сил. Вязкость битума зависит от температуры. При пониженных температурах вязкость битума велика и он приобретает свойства твердого тела; с увеличением температуры вязкость уменьшается и битум переходит в жидкое состояние. Для характеристики вязкости битумов (вязких и твердых) пользуются условным показателем твердости — глубиной проникания иглы (пенетрацией). Вязкость жидких битумов определяют на стандартном вискозиметре по времени (с) истечения порции битума при определенной температуре битума и диаметре отверстия прибора. При действии на иглу груза массой 100 г в течение 5 с при температурах 25 и 0°C глубину проникания определяют на специальном приборе — пенетрометре (рис. 14.1). Она выражается в градусах ($1^\circ = 0,1$ мм) и обозначается P_{25} (индекс показывает температуру материала во время испытания).

Пластичность вязких битумов характеризует растяжимость, которую определяют с помощью дуктилометра (рис. 14.2). Испытаниям подвергают образцы битума в виде восьмерок стандартной формы и размеров. Показателем растяжимости битума служит величина деформации шейки образца в момент разрыва, выраженная в сантиметрах. Это испытание проводят при скорости растяжения 5 см/мин и температурах 25 и 0°C. Так же как и вязкость, пластичность битумов зависит от температуры, группового состава и характера структуры. Пластические свойства наблюдаются у битумов, содержащих значительное

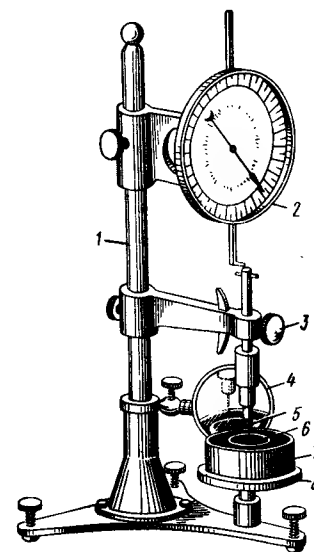


Рис. 14.1. Пенетрометр:

1 — штатив; 2 — диск с циферблатом и стрелкой; 3 — зажимное устройство; 4 — зеркальце; 5 — игла; 6 — испытуемый битум; 7 — сосуд с водой; 8 — столик пенетрометра

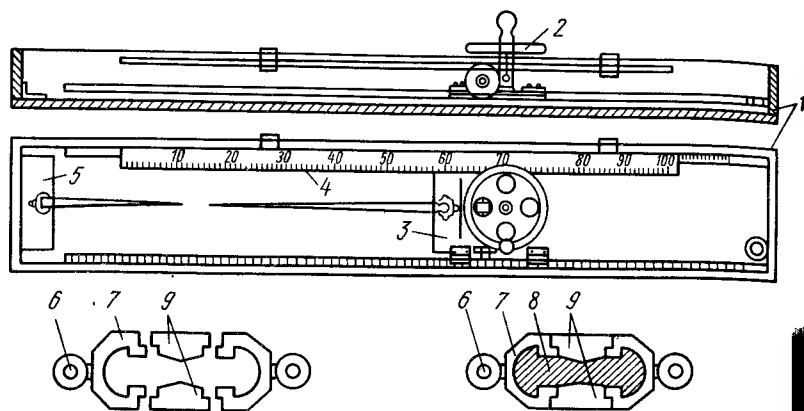


Рис. 14.2. Дуктилометр и форма для изготовления образцов:
1 — ящик; 2 — маховик; 3 — подвижные салазки; 4 — шкала; 5 — неподвижные салазки; 6, 7, 9 — разборные части формы; 8 — битумный образец-восьмерка

количество смол, оптимальное количество асфальтенов и масел и небольшое количество карбенов и карбоидов. Вязкие битумы, содержащие твердые парафины, при низких температурах имеют небольшую тягучесть.

Температура размягчения является важной оценкой свойств битумов и характеризует верхний температурный предел его применения. Определяют ее на приборе «кольцо и шар» (рис. 14.3). Латунное кольцо диаметром 16 мм и высотой 6,4 мм заполняют битумом, на поверхность последнего укладывают шарик диаметром 9,5 мм и массой 3,5 г. Температуру размягчения определяют по температуре воды в приборе, когда битум размягчится и шарик опустится на нижнюю полочку этажерки.

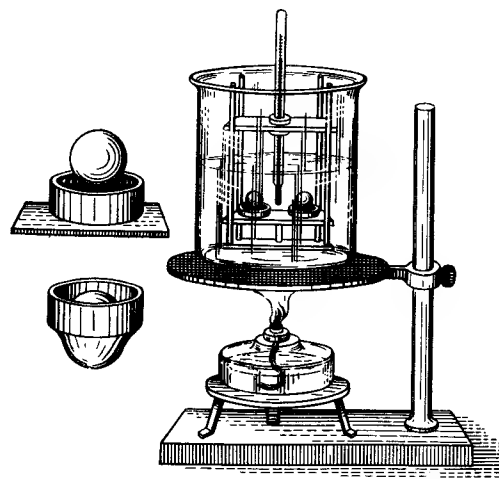


Рис. 14.3. Прибор для определения температуры размягчения

Температура хрупкости характеризует нижний температурный предел применения битума. При этой температуре появляется первая трещина в тонком слое битума, нанесенном на стальную пластинку стандартного прибора при ее изгибе и распрямлении. Температурный интервал между температурой хрупкости и температурой размягчения называют темпера-

турным рабочим интервалом. Для учета огнеопасности при нагревании битума определяют температуру вспышки паров, выделяемых из битума при нагревании от прикосновения пламени.

Наряду с основными свойствами битумов, определяющими их марку, битумы характеризуются также другими показателями, например *устойчивостью битумов в водной среде*, которая обусловливается содержанием масел, смол и асфальтенов; *когезией, прочностью межмолекулярных связей; прилипанием битума к каменным материалам (адгезия)*, которая зависит от физико-химических свойств битумов; *погодостойчивостью битумов*, т. е. способностью противостоять воздействию атмосферным факторам в элементах сооружений.

Для строительных целей необходимо применять битумы, свойства которых соответствуют условиям их работы в строительных конструкциях. Физико-технические свойства нефтяных битумов приведены в табл. 14.1.

Таблица 14.1. Основные свойства нефтяных битумов

Марка битума	Температура размягчения, °С, не менее	Глубина проникания иглы при температуре +25°С, мм	Растяжимость при температуре +25°С, см	Температура вспышки, °С, не ниже	Хрупкость, °С, не выше
Битумы нефтяные строительные (ГОСТ 6617—76)					
БН-50/50	50	41...60	40	220	Не нормируется То же »
БН-70/30	70	21...10	3	230	
БН-90/10	90	5...20	1	240	
Битумы нефтяные кровельные (ГОСТ 9548—74*)					
БНК-45/180	40...50	140...220	Не нормируется То же »	240	»
БНК-90/40	85...95	35...45		240	»
БНК-90/30	85...95	25...35		240	»
Битумы нефтяные дорожные улучшенные (ГОСТ 22245—76*)					
БНД-200/300	Не нормируется	201...300	Не нормируется	200	— 20
БНД-130/200	25	131...200	65	220	— 18
БНД-90/130	40	91...130	60	220	— 17
БНД-60/90	45	61...90	50	220	— 15
БНД-40/60	45	40...60	40	220	— 10

Жидкие битумы делят на три класса: класс БГ — быстрогустеющие, СГ — среднегустеющие и МГ — медленногустеющие. Битумы классов БГ и СГ получают в результате разбавления вязких битумов легкими разжижителями (керосином и т. п.). Битум класса МГ получают в остатке после перегонки нефти

или разжижением вязких битумов масляными продуктами нефтяного или каменноугольного происхождения. Каждый класс в зависимости от вязкости делят на марки.

§ 14.2. Дегти

● Дегти представляют собой вязкие жидкости черного или бурого цвета, состоящие из углеводородов и их сернистых, азотистых и кислородных производных, получаемых конденсацией паровых продуктов, образующихся при разложении органических материалов (каменного угля, торфа, древесины и др.) в условиях высокой температуры без доступа воздуха. Процесс этот называется сухой деструктивной перегонкой, при которой химическая структура перегоняемого вещества полностью изменяется.

По исходному сырью дегти делят на каменноугольные, торфяные, древесные и сланцевые, а в зависимости от метода переработки сырья — на коксовые и газовые. В строительстве наибольшее значение имеют каменноугольные дегти, которые являются побочным продуктом процессов коксования и газификации каменного угля. Наибольшее развитие получают материалы на основе битумов, а соответственно сокращается использование материалов на основе дегтевых композиций.

● Каменноугольные дегти в зависимости от температуры коксования делят на *высокотемпературные*, получаемые в результате коксования исходного сырья при температуре 900... 1100°C, *низкотемпературные*, получаемые в результате полукоксования при температуре 500... 700°C, и *газовые* — при газификации топлива в производстве светильного газа.

При разложении каменного угля образуются *сырые* дегти, которые непосредственно для производства строительных материалов не применяются. В них содержится значительное количество летучих составных частей, которые даже при слабом нагревании испаряются, что приводит к изменению первоначальных свойств строительных материалов (возникает хрупкость). Из сырого дегтя отгоняют легкие и средние масла, в результате чего получают так называемый отогнанный деготь.

Составные части дегтя отгоняют при различных температурах: при температуре до 170°C отделяется легкое масло, при 170... 270°C — среднее, при 270... 300°C — тяжелое и при 300... 360°C — антраценовое масло. После окончания отгонки масел получают твердое вещество черного цвета, называемое пеком. Антраценовое масло представляет собой жидкую, иногда маслоподобную зеленовато-желтую массу с запахом ввиду наличия в нем фенолов и сернистых соединений.

Сырой деготь (каменноугольная смола), каменноугольные пек и масло характеризуются следующими физико-механическими показателями: смола каменноугольная в своем составе содержит до 7% свободного углерода, до 4% воды и до

10% нафталина, при 80°C обладает вязкостью 2,5... 4,5 с; пек каменноугольный производят двух марок: среднетемпературный и высокотемпературный, отличаются указанные виды пеков главным образом температурой размягчения, содержанием свободного углерода, воды и нерастворимых в бензоле веществ; масло каменноугольное характерно большим содержанием — до 70% тяжелых фракций, отгоняемых в интервале температур 275... 360°C, до 0,3% нерастворимых в бензоле веществ и до 1,5% воды. Составленный деготь получают сплавлением пека с дегтевыми маслами или обезвоженными сырыми дегтями.

Дегти каменноугольные дорожные получают при коксовании угля или сплавлением пека каменноугольного с маслами или обезвоженным сырым дегтем.

По физико-механическим показателям смешанные дегти обладают относительно высоким содержанием нерастворимых в бензоле соединений — до 20% и водорастворимых соединений — 0,5... 7%. По фракционному составу они имеют большое количество средних и тяжелых фракций в интервале температур 270... 300°C. Характерным показателем смешанных дегтей является их вязкость. Наполненные дегти получают, вводя в составленные дегти тонкоизмельченные материалы (известняк, доломит). Это производят для повышения вязкости, погодо- и температуростойкости дегтей.

● Сланцевые дегти получают при нагревании горючих сланцев без доступа воздуха в специальных генераторах или туннельных печах до 500... 550°C, при этом выделяются газ, низкотемпературная смола в количестве 15... 20% от массы сланца и полукок. Низкотемпературную смолу разделяют на автомобильный бензин, тракторное и дизельное топливо и мазут как остаток после отгона всех фракций. Этот остаток составляет около 60% и используется как жидкий сланцевый деготь. Последний бывает шести марок, каждая марка его характеризуется в основном тремя показателями: вязкостью при температуре 25 и 60°C, фракционным составом и температурой вспышки.

● Транспортирование и хранение. Битумные и дегтевые вяжущие должны иметь заводскую упаковку. При перевозке их защищают от повреждений и атмосферных воздействий, а хранят в закрытых складах или под навесом в рассортированном виде. Битумы полутвердые, дегти каменноугольные и сланцевые, пек жидкий транспортируют в бункерных полувагонах, автоцистернах, контейнерах, бочках и железнодорожных цистернах. Битум строительный и кровельный транспортируют в бочках, фанерных барабанах, бумажных мешках и без тары в крытых вагонах и на платформах. Пек перевозят без тары в крытых вагонах и на платформах. Битумы жидкие и дегти каменноугольные перевозят в железнодорожных цистернах, бункерах-полувагонах, автоцистернах.

§ 14.3. Асфальтовые и дегтевые бетоны

Асфальтовыми и дегтевыми бетонами называют искусственный материал, получаемый в результате уплотнения специально подобранной смеси, состоящей из щебня (или гравия), песка, минерального порошка, битума или дегтя и пека. Применяют их главным образом в дорожном строительстве.

● **Асфальтовые бетоны** в зависимости от вида каменного материала делят на: щебеночные, состоящие из гравия, песка или гравийно-песчаного материала, минерального порошка и битума, и гравийные, состоящие из песка, минерального порошка и битума. В зависимости от температуры, при которой укладывают и уплотняют смесь в покрытии, и вязкости применяемого битума различают следующие разновидности асфальтовых бетонов: *горячие*, приготовляемые на вязких битумах марок БНД-90/130, БНД-60/90 и БНД-40/60, формирование структуры бетона в основном заканчивается в период уплотнения, температура при укладке должна быть 80...110°C; *теплые*, приготовляемые на битумах пониженной вязкости, марок БНД-200/300 и БНД-130/200 или жидких битумов марок БГ-70/130, формирование структуры также в основном заканчивается в период уплотнения; *холодные*, приготовляемые на жидких битумах марок СГ-70/130, укладываемые в покрытие после полного их остывания; формирование их структуры продолжается в течение 20...30 сут. К холодным относятся асфальтобетоны только на мелкозернистом или песчаном заполнителе.

По максимальной крупности зерен минерального материала асфальтовый бетон делят на: *крупнозернистый* с наибольшим размером зерен 40 мм, *среднезернистый* — 25 мм, *мелкозернистый* — 15 мм и *песчаный* — 5 мм.

По структурным признакам (плотности) асфальтовый бетон может быть *плотный*, имеющий суммарную пористость 3...5% объема, и *крупнопористый* с пористостью 5...10% от объема.

Асфальтобетонную смесь готовят по следующей технологической схеме (рис. 14.4): минеральные материалы (щебень и песок) из открытых складов и минеральный порошок из закрытого склада подают в дозаторы, после чего отвешенный на один замес (массой 3...3,5 т) материал транспортером подают в бункер, откуда при открытии затвора он самотеком поступает во вращающийся барабан смесителя. Последний разделен на два отделения: сушильное для просушивания и подогрева минеральных материалов до 170...190°C и смесительное для объединения минеральных материалов и расплавленного битума, поступающего через дозатор по трубам из битумоплавильных котлов. На один цикл работы затрачивается 12...15 мин. Производительность смесителя Д-138 при приготовлении крупнозернистой асфальтобетонной смеси составляет 90...110 т в смену.

Приготовленную асфальтобетонную смесь транспортируют в автосамосвалах и у места укладки загружают в асфальтоуклад-

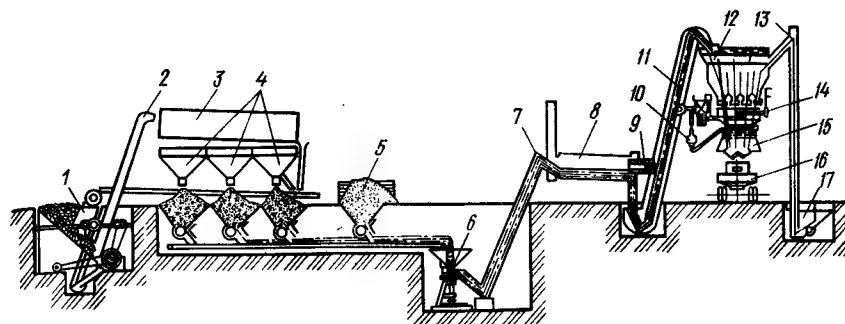


Рис. 14.4. Технологическая схема приготовления асфальтобетонной смеси:
1 — дробилка для камня; 2 — элеватор; 3 — сортировка на фракции; 4 — бункера щебня; 5 — бункер песка; 6 — питатель; 7 — элеватор для холодной смеси; 8 — сушильный барабан; 9 — полка; 10 — подача нефти; 11 — элеватор для горячей смеси; 12 — бункера горячей смеси; 13 — элеватор для наполнителя; 14 — дозаторы; 15 — смеситель; 16 — самосвал; 17 — приемник для наполнителя

чик, который ровным по толщине слоем распределяет ее по подготовленному основанию. Распределенную по дорожному основанию смесь уплотняют катками массой 5...14 т или вибрационными моторными катками массой 0,5...4,5 т.

В строительстве более широко применяют асфальтобетон, так как он долговечнее дегтебетона. Крупнозернистый асфальтобетон используют для устройства нижнего слоя дорожного покрытия; среднезернистый — для устройства однослойных покрытий и верхнего слоя двухслойных покрытий; мелкозернистый, обладающий достаточно высокой сопротивляемостью механическим и атмосферным воздействиям, — для устройства покрытий с интенсивным движением и для верхнего слоя двухслойных покрытий; песчаный, обладающий повышенной пластичностью, — для покрытия полов в цехах промышленных зданий, тротуаров и покрытий дорог с легким движением.

Для устройства покрытий на дорогах облегченного типа используют мелкозернистые асфальтобетонные смеси холодного типа. Крупнозернистые холодные бетоны применяют для устройства оснований и нижнего слоя двухслойных покрытий. Холодные бетоны проще и дешевле в изготовлении и удобнее в укладке, особенно в сырую и холодную погоду, чем обычные асфальтовые бетоны.

В строительной практике наряду с горячими, теплыми и холодными асфальтовыми бетонами применяют также *литой асфальтобетон*. Уплотняют его в горячем состоянии утюгами или легкими (0,5...1,5 т) катками. Литой асфальт используют в стесненных условиях, где нельзя использовать тяжелые катки и вибраторы, или при малых объемах работ (для устройства покрытий на тротуарах, плоских кровель, полов в складских и производственных помещениях, а также для гидроизоляции).

● **Дегтебетон** представляет собой материал, аналогичный асфальтобетону. В качестве вяжущего для его изготовления применяют каменноугольный деготь марок от Д-5 до Д-8 или деготь, состоящий из каменноугольного пека, каменноугольного масла и сырого дегтя. Дегтебетон укладывают в горячем и холодном состоянии. В зависимости от крупности каменного материала дегтебетон делят на *крупно-, средне- и мелкозернистый*. Для приготовления *горячего* дегтебетона применяют те же минеральные материалы, что и для асфальтобетона, и требования предъявляются к ним аналогичные. Дегтебетонную смесь готовят в асфальтобетонных установках при температуре 100...130°C. Дегтебетон обладает меньшей водоустойчивостью, износостойкостью и теплостойкостью, чем асфальтобетон, менее пластичен, поэтому больше деформируется в холодное время. Применяют дегтебетон преимущественно для дорог III категории и для ремонта.

14.Б. РУЛОННЫЕ КРОВЕЛЬНЫЕ И ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

● **Рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы на основе битумных и дегтевых вяжущих или их смесей по структуре полотна материала подразделяются на основные и безосновные.** В качестве основы рулонного материала применяют картон кровельный, стеклоткани, фольгу и асбестовую бумагу.

На картонной основе производят рубероид, пергамин и толь; на стеклооснове — стеклорубероид и армогидробутил; на основе фольги — фольгоизол и фольгорубероид и на асбестовой бумаге — гидроизол.

Безосновные рулонные материалы производят в виде полотен определенной толщины, применяя прокатку смесей, составленных из органического вяжущего (чаще битума), наполнителя (минерального порошка или измельченной резины) и добавок (пластификатора, антисептика). К безосновным материалам относятся изол, бризол и гидробутил.

По виду вяжущих различают следующие кровельные и гидроизоляционные материалы: *битумные*, состоящие из нефтяных битумов или сплавов нефтяных и природных битумов; *дегтевые*, представляющие смесь каменноугольных и сланцевых дегтей или сплавов пеков с каменноугольными дегтями или дегтевыми маслами; *дегтебитумные*, состоящие из каменноугольных дегтепродуктов или сланцевых дегтей с нефтяными битумами; *битумно-полимерные*, состоящие из нефтяных битумов и полимеров (включая каучуки); *резинобитумные*, получаемые в результате совместной переработки нефтяных битумов и старой резины; *резинодегтевые*, получаемые в результате совместной переработки старой резины и дегтепродуктов; *полимерные* — на полимерном вяжущем.

§ 14.1. Рулонные материалы

● В строительстве битуминозные кровельные и гидроизоляционные материалы применяют двух типов: **основные, получаемые пропиткой основы (специального картона) нефтяными битумами или дегтевыми составами с последующим покрытием более тугоплавким составом и нанесением посыпки; безосновные, получаемые путем прокатки на каландрах термомеханически обработанных смесей вяжущих с наполнителями и добавками.**

● **Рулонные материалы** производят с защитным слоем, в качестве которого может быть посыпка (крупнозернистая — К, чешуйчатая — Ч и пылевидная — П), покрытие фольгой, а также специальные щелоче-, кислото- и озоностойкое покрытие.

Рубероид представляет собой рулонный кровельный материал, изготавливаемый пропиткой кровельного картона* мягкими нефтяными битумами с последующим покрытием его с одной или с обеих сторон тугоплавким нефтяным битумом и нанесением на его поверхность тонкого слоя мелкоизмельченного минерального порошка, слюды или цветной минеральной посыпки. Его выпускают в виде полотен, обычно по ширине кровельного картона 1000, 1025 и 1050 мм, свернутых в рулоны площадью 10, 15 и $(20 \pm 0,5)$ м². Производство рубероида состоит: из подогрева пропиточной и кровельной массы в котлах до температуры 180...200°C или окисления в конвертерах; подготовки посыпочных материалов; пропитки полотна картона в пропиточной ванне; отжима валками машины лишнего битума; протягивания пропитанного картона через другую ванну с более тугоплавким битумом (с наполнителем, имеющим температуру размягчения не ниже 85°C по КиШ) для нанесения кровельного слоя; посыпки минеральным порошком или другим посыпочным материалом с одной или обеих сторон; охлаждения материала на цилиндрах с водяным или иным охлаждением; окончательного охлаждения в петлях магазина запала; резки ленты на куски стандартной длины и свертывания их в рулоны. Схема рубероидной машины показана на рис. 14.5.

В настоящее время промышленность выпускает рубероид 9 марок: РКК-420А и Б и РКК-350Б; РКЧ-350Б; РKP-350А и Б; РПП-300А и Б и РПЭ-300. Буква Р в марке обозначает рубероид; буквы К, П, и Э — кровельный, подкладочный, эластичный; третьи буквы К, П и Ч — вид посыпки — крупнозернистая, пылевидная и чешуйчатая, а числа после букв обозначают марку картона.

Рубероид РКК обладает следующими физико-техническими показателями: прочность на разрыв полосы рубероида шири-

* Кровельный картон получают из смеси хлопчатобумажного лоскута с добавлением льняного и шерстяного тряпья, бумажной макулатуры и целлюлозы. В зависимости от массы 1 м² (г) кровельный картон разделяют на марки: А-420 и Б-420, А-350 и Б-350, А-300 и Б-300. Чем выше марка, выше прочность на разрыв и выше качество материала.

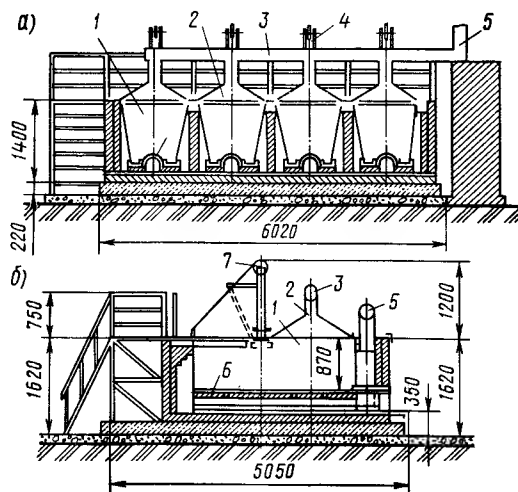


Рис. 14.5. Битумоварочная установка:

a — поперечный разрез (по вытяжным зонтам); *б* — продольный разрез; 1 — котел; 2 — вытяжной зонг; 3 — горизонтальный газоотвод; 4 — стойка с блоком механизма открывания крышек люков котлов; 5 — вытяжная труба; 6 — чугунный свод; 7 — горизонтальный дымоотвод

ной 50 мм — не менее 320 Н; водонепроницаемость образца площадью 78,5 см² (диаметром 100 мм) при гидростатическом давлении — до 0,07 МПа; обладает хорошей гибкостью; при изгибании вокруг стержня диаметром 30 мм не возникают трещины и отслоения; температура размягчения пропиточной массы по методу КиШ не ниже 40°С и покровной массы 85...90°С.

Рубероид с крупнозернистой посыпкой РКК — кровельный материал, получаемый пропиткой мягким битумом кровельного картона с нанесением двустороннего покровного слоя из тугоплавкого битума и крупнозернистой посыпки с лицевой стороны и пылевидной — с нижней стороны. Предназначен для устройства верхнего слоя кровельного ковра. Рубероид с крупнозернистой чешуйчатой посыпкой применяют для верхнего слоя покрытий скатных и пологих кровель на горячих и холодных мастиках.

Рубероид кровельный марок РКП-350А и Б с пылевидной посыпкой используют для верхнего слоя кровельного ковра с защитным слоем; рубероид подкладочный с пылевидной посыпкой РПП-300А и Б — только в качестве подкладочного материала. Рубероид РПЭ-300 — эластичный кровельный материал; его применяют для нижнего покровного слоя в районах Крайнего Севера.

Дегтебитумные материалы (ДБ) изготовляют путем пропитки кровельного картона дегтепродуктами с последующим покрытием с обеих сторон нефтяным битумом. Дегтебитумные мате-

риалы производят шириной 65...105 см, площадью рулона $(20 \pm 0,5)$ м². Дегтебитумные материалы применяют для многослойных плоских совмещенных и водоналивных кровельных покрытий, оклеечной гидроизоляции и пароизоляции. Для верхнего слоя кровельного ковра используют дегтебитумные материалы с крупнозернистой или чешуйчатой посыпкой; для подкладочных слоев кровли и гидроизоляции — материал с мелкой минеральной посыпкой. Дегтебитумные материалы укладывают на холодных и горячих битумных и дегтевых мастиках.

Толь кровельный изготавливают пропиткой кровельного картона дегтепродуктами; по виду материала, применяемого для посыпки, и составу покровного слоя толь делят на толь с *крупнозернистой* и *песчаной* посыпками. Толь с крупнозернистой посыпкой изготавливают путем пропитки картона дегтепродуктами с последующим покрытием его с обеих сторон тугоплавкими дегтепродуктами, содержащими минеральный наполнитель. Его производят шириной 65...105 см и площадью рулона $(10 \pm 0,5) \text{ м}^2$. Толь с крупнозернистой посыпкой применяют для верхнего слоя пологих и широких кровель на горячих дегтевых мастиках. Толь с песчаной посыпкой изготавливают пропиткой и покрытием кровельного картона одними и теми же дегтями и последующей посыпкой их кварцевым песком. Поверхность толя должно быть равномерно покрыта слоем посыпки: полотно толя не должно иметь разрывов, складок, вмятин, дыр. В разрыве материал должен иметь черный цвет без светлых прослоек непропитанного картона. Толь с песочной посыпкой производят шириной 75...105 см, площадью рулона $(15 \pm 0,5) \text{ м}^2$. Его применяют для устройства кровель временных сооружений, изоляции фундаментов и других частей сооружений. Толь с песчаной посыпкой укладывают на горячих дегтевых мастиках.

Кровельные материалы на стеклооснове делят на *кровельную стеклоткань, кровельный стекловолок и гидроизоляционные асфальтовые армированные маты*. Кровельная стеклоткань и стекловолок изготавливают путем совмещения стеклоосновы с битумной резинобитумной или битумно-полимерной пленками и с одной или с обеих сторон покрывают слоем посыпки. Их изготавливают в рулонах площадью 10 м². Стеклоткань и стекловолок укладывают на горячих и холодных битумных мастиках; их применяют для многослойных плоских кровель, оклеечной гидроизоляции и пароизоляции.

Асфальтовые армированные маты изготовляют путем покрытия с обеих сторон стеклоткани слоем битума или гидроизоляционной асфальтовой мастики. В зависимости от пропиточного материала и состава покровного слоя различают асфальтовые армированные маты обычные и с повышенной теплостойкостью. Армированные маты производят длиной 3...10 м, шириной до 1 м и толщиной 4...6 мм. Асфальтовые армированные маты применяют для устройства оклеечной гидроизоляции и уплотнения деформированных швов.

● **Беспокровные рулонные материалы на основе** подразделяют на пергамин и толь беспокровный.

Пергамин представляет собой кровельный и изоляционный материал, изготовленный из кровельного картона, пропитанного нефтяными битумами. Пергамин не имеет на поверхности кровельного слоя. Изготавливают его на пергаминовых агрегатах, состоящих из размоточного станка для картона, магазина запаса картона, пропиточной ванны с отжимными вальцами, охлаждающих цилиндров и намоточного станка. Пергамин можно производить и на рубероидных машинах, но в этом случае будет простаивать ряд агрегатов. Выпускают пергамин в рулонах площадью 20...(40±0,5) м², массой 15 или 30 кг. Пергамин должен быть гибким и водонепроницаемым. Под давлением 0,01 МПа в течение 10 мин не должно быть признаков проникания воды, водопоглощение не более 20%, а разрывная нагрузка не менее 270 Н. Пергамин применяют как подкладочный материал под рубероид, а также для пароизоляции на горячих битумных мастиках.

Толь беспокровный изготавливают пропиткой кровельного картона каменноугольными дегтевыми составами. Для пропиточной массы применяют смесь отогнанного битума с песком, имеющую температуру размягчения 34...40°C по КиШ; отношение пропиточной массы к массе картона 1,15:1,0. Толь беспокровный применяют для устройства кровель как подкладочный материал под толь с крупнозернистой посыпкой, для пароизоляции, а также в многослойных плоских кровельных покрытиях на горячих дегтевых мастиках.

Гидроизол — беспокровный биостойкий гидроизоляционный рулонный материал, получаемый путем пропитки асбестовой бумаги нефтяным битумом. Гидроизол в зависимости от качественных показателей выпускают двух марок: ГИ-Г и ГИ-К. Гидроизол изготавливают в рулонах шириной (95±0,5) см, длиной (20±0,4) м, толщиной 0,7 мм. Допускается в одном рулоне соединять не более двух полотен гидроизола, из которых меньшее не короче 3 м. Края полотен в стыке должны быть ровно обрезаны. Поверхность полотна гидроизола должна быть гладкой, допускаются отдельные жирные пятна, не вызывающие склеивания полотна в рулоне. В разрезе гидроизол должен быть черным или черным с коричневым оттенком, без светлых прослоек непропитанной бумаги. Гидроизол применяют в качестве оклеечной гидроизоляции с использованием горячих битумных мастик, для устройства защитного противокоррозионного покрытия металлических трубопроводов, а также для гидроизоляции плоских кровель.

Фольгоизол — рулонный двухслойный материал, состоящий из тонкой рифленой фольги, покрытой с нижней стороны слоем битумно-резинового или битумно-полимерного вяжущего, минерального наполнителя и антисептика. Для приготовления битумно-резинового или битумно-полимерного вяжущего применяют следующие материалы: нефтяные битумы, дробленую резину марки РД, синтетические каучуки марок СКС-30, АРКМ-27 или

битумкаучук, хризотилловый асбест 7-го сорта, сосновую канифоль, автомобильные моторные масла, каменноугольное масло и иден-кумаровую смолу. Фольга для фольгоизола применяется марки М (отожженная), а для гидроизоляционного — марки Т (нагартанная).

Фольгоизол — водонепроницаемый и долговечный материал, не требующий ухода в течение всего периода его эксплуатации. В силу отражательной способности фольги температура нагрева солнечными лучами кровли из фольги на 20°C ниже, чем температура аналогичных кровель черного цвета. Фольгоизол податлив в обработке, гибок, хорошо режется и гвоздится. Внешняя поверхность фольгоизола может быть гладкой и рифленой, окрашена в различные цвета атмосферостойкими лаками или красками.

Основные физико-механические показатели фольгоизола: масса резинобитумного или полимерно-битумного вяжущего на 1 м² должна быть не менее 2000 г, водопоглощение — не более 3,5...4,0 г/м², гибкость при стержне диаметром 20 мм — до 13°C, температура хрупкости вяжущего по Фраасу — не выше —13 и —20°C. Водонепроницаемость в течение 2 ч под давлением 2,0...2,5 МПа.

Фольгоизол производят двух видов: фольгоизол кровельный (ФК) на битумно-полимерном вяжущем, предназначенный для верхнего слоя рулонного ковра с различным уклоном и конфигурацией, и фольгоизол гидроизоляционный (ФГ), изготовленный на битумно-резиновом вяжущем и применяемый для устройства защитного покрытия тепловой изоляции трубопроводов. Фольгоизол выпускают в рулонах шириной полотна 960...1020 мм, площадью 10 м².

Стеклоизол — рулонный кровельный и гидроизоляционный материал, полученный путем двустороннего нанесения на поверхность холста типа стеклоосновы резинобитумной массы.

Стеклорубероид — кровельный и гидроизоляционный материал на стеклянной основе. Получают его путем нанесения битума на обе стороны стекловолокнистого холста. Лицевая поверхность рубероида равномерно покрывается сплошным слоем крупнозернистой или чешуйчатой посыпки, а обе стороны гидроизоляционного рубероида — пылевидной минеральной посыпкой. Стеклорубероид производят трех марок: С-РК — стеклорубероид кровельный с крупнозернистой посыпкой с лицевой стороны; С-РЧ — стеклорубероид с чешуйчатой посыпкой с лицевой стороны; С-РМ — стеклорубероид гидроизоляционный с мелкой посыпкой с двух сторон. Стеклорубероид применяют для нижних слоев кровельного ковра и для оклеечной гидроизоляции. Стеклорубероид производят толщиной полотна (2,5±0,5) мм, шириной 960...1000 мм, площадью рулона (10±0,5) м²; масса стеклянной основы должна быть не более 100 г/м². Стеклорубероид должен быть водонепроницаемым и достаточно гибким.

Утяжеленный стеклорубероид — рулонный гидроизоляцион-

ный материал, получаемый путем нанесения битумной массы на биостойкую штапельную стеклосетку. Утяжеленный стеклорубероид предназначен для высококачественной гидроизоляции подземных и наземных частей зданий и сооружений (туннелей, метрополитенов, мостов, гидросооружений).

● **Безосновные кровельные и гидроизоляционные рулонные материалы.** Наибольшее применение получили резинобитумные материалы, выпускающиеся в виде изола, бризола и гидробутила.

Изол рулонный — кровельный и гидроизоляционный безосновный резинобитумный материал. Он долговечнее рубероида примерно в 2 раза, эластичен, гниlostоек и невлагоемок. Изол изготавливают из материалов, содержащих каучук в сочетании с нефтяными битумами, каменноугольными смолами, минеральными наполнителями. Изол выпускают в рулонах длиной до 10 м, шириной 1 м, толщиной 2 мм, прочностью на разрыв не менее 0,4 МПа, водопоглощением за 24 ч не более 1%, гибкостью на стержне диаметром 10 мм при 15°C, теплостойкостью в течение 2 ч при 150°C. Изол применяют для оклеечной гидроизоляции конструкции зданий, двух- и трехслойных покрытий пологих и плоских кровель на битуме и горячих мастиках.

Бризол — резинобитумный изоляционный материал, получаемый смешением нефтяного битума с дробленой резиной с введением асбестового волокна и пластификатора. Бризол производят шириной 0,4...0,45 м, толщиной до 2 мм и общей площадью рулона до 25 м². Бризол применяют для антикоррозионной защиты подземных металлических трубопроводов.

Гидробутил — новый гидроизоляционный безосновный материал из бутилкаучука, сохраняет эластичность в диапазоне температур от -60 до +120°C, отличается хорошей адгезией к бетону и металлу.

§ 14.5. Эмульсии и пасты

● **Эмульсиями** называют дисперсные системы, состоящие из двух не смешивающихся между собой жидкостей, из которых одна находится в другой в мелкоизмельченном (диспергированном) состоянии. В подобных системах различают дисперсионную среду и дисперсную фазу, которая распределена в первой.

Битумные и дегтевые эмульсии — это дисперсные системы, в которых вода является средой, а диспергированный битум или деготь — фазой. Образование и устойчивость эмульсий достигается путем введения в нее специальных эмульгаторов — поверхностно-активных веществ или тонкодисперсных твердых порошков, которые, с одной стороны, понижают поверхностное натяжение между битумом и водой и этим способствуют более мелкому раздроблению, а с другой — сообщают частицам определенный заряд, препятствующий слиянию частиц. В качестве органических эмульгаторов для получения битумных эмульсий применяют олеиновую кислоту, концентраты ССБ и асидол.

Битумные эмульсии получают механическим путем диспергированием с применением особых быстро вращающихся механизмов (гомогенизаторов), в которые смесь расплавленного вяжущего и воды с эмульгатором поступает через щель между дисками и кожухом аппарата. При быстром вращении дисков (до 300 об/мин) битум под влиянием центробежной силы расплывается в водной среде. Имеющийся в воде эмульгатор обволакивает частицы вяжущего и придает им необходимую устойчивость. В последнее время для изготовления битумных эмульсий часто пользуются акустическими диспергаторами. Битумные эмульсии можно приготовить и в смесителях с медленным вращением (120 об/мин); в этом случае необходимо применять более активные эмульгаторы и низкоплавкие битумы. Содержание битумов в эмульсиях составляет около 50%, эмульгатора — 0,1...5%.

Качество битумных эмульсий, характеризующееся скоростью распада, зависит от свойств эмульгаторов и дисперсности эмульсии. Эмульсии, применяемые для смешивания с мелкими материалами, не должны распадаться до полного объединения с ними, а при обработке сырых поверхностей должны быть устойчивыми при разведении водой. Битумные эмульсии после нанесения их на поверхность должны относительно быстро и полно выделять битум в виде тонкой и плотной пленки, которая снова переходит в эмульсию при действии воды. В отличие от битумов, дегтей и пеков, которые применяют в строительстве обычно разогретыми, в сухую погоду и при сухих заполнителях, битумные эмульсии используют в холодном состоянии. Их можно наносить на влажные поверхности.

Эмульсии применяют для устройства защитного гидроизоляционного и пароизоляционного покрытия, грунтовок основания под гидроизоляцию, приклейки штучных и рулонных материалов, а также гидрофобизации поверхностей изделий. Кроме того, эмульсию добавляют к воде затворения при изготовлении бетонов; этим достигается их объемная гидрофобизация.

Хранят эмульсию в металлической таре в закрытых помещениях с температурой не ниже 0°C; тара должна быть чистой, так как присутствие посторонних примесей может вызвать быстрый ее распад. Транспортируют эмульсии в бочках или цистернах.

● **Битумные пасты** готовят из битума, воды и эмульгатора. В качестве эмульгатора используют неорганические тонкодисперсные минеральные порошки, содержащие активные коллоидные частицы размером менее 0,005 мм, добавляемые в воду при производстве паст. В качестве эмульгатора используют известь, глины, трепел молотый. Наиболее водоустойчивые пасты получают при применении известковых эмульгаторов.

Для гидроизоляционных работ рекомендуется применять составы битумных паст, приведенные в табл. 14.2.

Битумные пасты применяют для устройства защитного гидро-

Таблица 14.2. Составы битумных паст, % по массе

Наименование эмульгатора	Битум	Вода	Эмульгатор
Известь негашеная	45...50	47...38	8...12
» гашеная	40...45	50...40	10...15
Глина высокопластичная	50...55	42...35	8...10
» пластичная	45...50	45...38	10...12
Трепел молотый	50...55	40...30	10...15

изоляционного покрытия, грунтовки изолируемой поверхности, уплотнения стыков в кровле, а также в качестве вяжущего для изготовления холодных мастик.

§ 14.6. Мастики

По виду исходного вяжущего различают мастики *битумные, битумно-полимерные, битумно-эмульсионные, резинобитумные, полимерные, дегтевые и дегтеполимерные.*

Мастики по назначению бывают *приклеивающие* — для приклеивания рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов и для устройства защитного слоя кровель. Кроме того, мастики производят для устройства мастичных слоев *гидро- и пароизоляции*, а также для *изоляции подземных стальных трубопроводов и других сооружений с целью защиты их от коррозии.*

По способу укладки мастики бывают *горячие и холодные*. Горячие мастики применяют с предварительным подогревом: битумные — до температуры — 160...180°C, резинобитумные — 170...180, дегтевые — 130...150 и гудрокамполимерные — 70°C. Холодные мастики используют при температуре окружающего воздуха 5°C без подогрева, при более низких температурах с подогревом — до 60...70°C.

● **Мастики изготовляют из органического вяжущего, разбавителя и наполнителя.** Наполнители применяют для повышения теплостойкости, уменьшения хрупкости при пониженных температурах и уменьшении расхода вяжущего. Для мастики используют наполнители пылевидные, волокнистые и комбинированные (смесь пылевидного и волокнистого). В качестве пылевидных наполнителей применяют известняк, доломит, кварц, тальк, трепел, золу, цемент и многие другие, а в качестве волокнистого наполнителя — хризотилвый асбест 7-го и 8-го сортов, асбестовую пыль, коротковолнистую минеральную вату. В качестве разбавителя мастики могут содержать воду, органические растворители, нефтяные масла, битумы, гудрон, мазут.

● **Горячие мастики в зависимости от области применения подразделяют на приклеивающие, кровельно-изоляционные и гидроизоляционные асфальтовые и антикоррозионные.**

Приклеивающие мастики выпускают четырех видов: *битумные*, состоящие из битума, наполнителя и антисептика; *резино-*

битумные — из резинобитумного вяжущего, полимерной добавки, наполнителя и антисептика; *дегтевые* — из каменноугольных дегтепродуктов и наполнителя и *гудрокамные* — из гудрокама, нефтяного битума и наполнителя. Битумные мастики производят четырех марок: МБК-Г-65, МБК-Г-75, МБК-Г-85 и МБК-Г-90. Резинобитумные мастики выпускают двух марок: МРБ-Г-П-100 и МРБ-Г-П-110; дегтевые — трех марок: МДГ-Г-50, МДК-Г-60 и МДГ-Г-70 и гудрокамные — МГ-Г-70. Последняя цифра марки мастики характеризует теплостойкость в градусах на уклоне 45°, например битумная мастика марки МБК-Г-65 имеет теплостойкость 65°C. Приклеивающие мастики предназначены для склеивания рулонных материалов при устройстве многослойных кровельных покрытий и гидроизоляции.

Кровельно-изоляционные мастики бывают двух видов: *гудрокамполимерные* марки МП-70, состоящие из гудрокама, нефтяного битума и полимера СКС-30; *резинобитумные* марок МРБ-Г-Г-100 и МРБ-Г-В-130, состоящие из резинобитумного вяжущего, полимерной добавки, наполнителя и антисептика. Кровельно-гидроизоляционные мастики применяют в качестве приклеивающих мастик, а также для устройства безрулонных кровель и гидроизоляции.

Гидроизоляционные асфальтовые горячие мастики, состоящие из битума и минерального наполнителя, в зависимости от теплостойкости изготовляют трех категорий: I, II, III. К гидроизоляционным асфальтовым горячим мастикам предъявляют следующие основные требования физико-механических свойств: температура размягчения по КиШ в зависимости от категории теплостойкости — не менее 60...90°C и не более 75...100°C; вязкость, определяемая проникновением иглы при температуре 25°C, — не менее 1,3...1,7 мм; пластичность, определяемая растяжимостью битума при 25°C, — не менее 1,2 и 4. Гидроизоляционные горячие мастики не должны увеличиваться в объеме при вакууме и должны иметь ничтожное водонасыщение. Гидроизоляционные асфальтовые мастики предназначены для литой и штукатурной гидроизоляции, а также для изготовления асфальтовых материалов и изделий.

Технология производства горячих мастик следующая. Битум на складе хранится по маркам, а наполнители, как волокнистые, так и пылевидные, — отдельно по сортам и видам в закрытых складах. До поступления в битумоварочную установку проверяется качество наполнителя. Наполнитель должен быть сухим (влажность не более 3...5%), тщательно измельченным (остатка на сите 920 отв/см² не должно быть, а на сите 6100 отв/см² — не более 30%), с плотностью не более 3 т/м³.

Битумы и наполнители со склада транспортируют к битумоварочной установке (рис. 14.6), которая состоит из нескольких битумоварочных котлов. При варке битума из него удаляется имеющаяся в виде примеси вода и осаждаются песчаные частицы. Сначала загружают битум — и после того, как он расплавится,

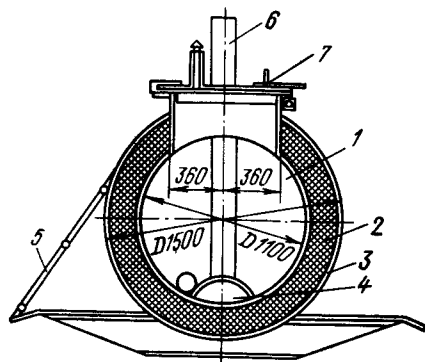


Рис. 14.6. Термосный битумовоз:

1 — цистерна; 2 — утеплитель-шлаковата; 3 — кожух из листового железа; 4 — топливник; 5 — стальная лестница; 6 — дымовая труба; 7 — крышка люка

битумовоз оснащен также установкой для подогрева битумной мастики в пути и на объекте в течение рабочей смены. Перед расходом мастику подогревают до 180...200°C и выдают через сливной кран.

Для изготовления приклеивающих и кровельно-гидроизоляционных мастик вводят 10...13% наполнителя; гидроизоляционных асфальтовых мастик — 65...70% порошкообразного наполнителя или 15...20% волокнистого наполнителя.

Приклеивающие и кровельно-изоляционные горячие мастики при температуре $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ должны быть твердыми, однородными, без видимых посторонних примесей; они не должны иметь видимых частиц наполнителя, не покрытых битумом.

Битумные, дегтевые и гудрокамовые мастики в рабочем состоянии должны легко наноситься щеткой или гребком по ровной поверхности слоем до 2 мм и свободно растекаться по изолируемой поверхности такой же толщины при подаче мастики насосом.

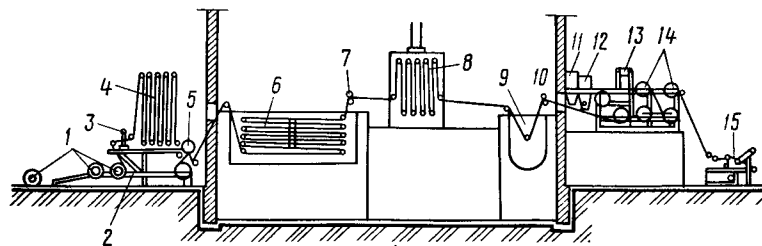


Рис. 14.7. Схема рублильной машины:

1 — бобины картона; 2 — размоточный станик; 3 — сушильный станик; 4 — магазин запаса картона; 5 — сушильные цилиндры; 6 — пропиточная ванна; 7, 10 — отжимные вальцы; 8 — камера допропитки; 9 — покрывная ванна; 11, 12, 13 — посыпочные бункера; 14 — холодильные барабаны; 15 — намоточный станок

добавляют битум более высокой вязкости. В расплавленный и обезвоженный при 180...190°C битум при постоянном перемешивании вводят частями наполнитель и производят варку до получения однородной массы. В качестве горючего для котлов применяют жидкое топливо.

Приготовленную мастику перекачивают из котла битумным насосом в термосный битумовоз (рис. 14.7), представляющий собой цилиндрическую емкость объемом 1,35 м³ с кожухом, утепленным изнутри шлаковатой. Сверху имеется люк для загрузки мастики. Би-

резинобитумные мастики наносят гребком при 170...180°C, а гудрокамовую и полимерную мастики — при 70°C.

● **Холодные мастики изготавливают на разбавленном вяжущем и на битумных пастах (асфальтовые мастики).** К мастикам, приготовляемым на разбавленном вяжущем, относятся битумные, резинобитумные, гудрокамовые.

Битумная холодная мастика состоит из нефтяного битума, разбавителя в виде пиролизной смолы, керосина или солярового масла до 30%, наполнителя, пластификатора и антисептика. Теплоустойчивость битумной мастики 70°C.

Резинобитумную мастику выпускают четырех марок. Она состоит из резинобитумного вяжущего, полимерной добавки, разбавителя, наполнителя, пластификатора и антисептика. Для приготовления резинобитумной мастики битум дробят на мелкие куски, загружают в битумоварочный котел и расплавляют. После удаления влаги и достижения температуры 160...180°C расплавленный битум поступает в смесительный агрегат, где он перемешивается с наполнителем. После остывания смеси до 80°C в агрегат вводят раствор резинового клея в бензине и смесь вновь перемешивают. Приготовленную мастику разливают в металлические бачки емкостью 37 л, которые плотно закрывают крышками. Холодные мастики могут храниться продолжительное время.

Гудрокамовая холодная мастика состоит из гудрокама, нефтяного битума, разбавителя и наполнителя. В качестве разбавителя для получения холодных мастик применяют летучие или нелетучие жидкие органические вещества. Летучие разбавители бывают легкие, средние и тяжелые. Летучие *легкие* — бензин авиационный, бензин автомобильный, бензин-растворитель, бензин экстракционный; *средние* — мигроин тракторный, бензин-растворитель и уайт-спирит; *тяжелые* — керосин тракторный, керосин осветительный, масло зеленое. В качестве нелетучих разбавителей применяют *нефтяные масла* — машинное, трансформаторное, цилиндрическое, смазочное, соляровое, а также *жидкие нефтяные битумы, масляный гудрон, мазут*.

Холодные мастики при температуре $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ должны быть подвижными, однородными, без видимых включений. Мастики на разбавленном вяжущем применяют для приклейки рулонных материалов и устройств защитного покрытия, а также для гидроизоляции и пароизоляции. Холодные мастики на битумных пастах изготавливают путем смешения битумных паст с минеральными наполнителями и антисептиком, в качестве разбавителя используют воду. Применяют холодные мастики на битумных пастах для литой и штукатурной гидроизоляции и заполнения деформационных швов, а также в качестве кровельного покрытия в южных районах страны.

● **Мастика изол — эффективный гидроизоляционный герметизирующий и приклеивающий материал.** Изготавливается из дешевого недефицитного сырья, содержащего каучук и нефтяной битум. Мастики изол в зависимости от температуры укладки под-

разделяются на горячие и холодные. Горячие могут быть уложены только с предварительным подогревом, холодные — без подогрева. Горячие мастики изол бывают приклеивающие (для склеивания рулонных материалов в кровлях и гидроизоляции), кровельно-гидроизоляционные (для приклеивания рулонных материалов кровель и гидроизоляции, а также для устройства безрулонных кровель и гидроизоляции) и герметизирующие (для герметизации стыков между панелями сборных зданий и сооружений).

Приклеивающие мастики изготовляют двух видов: для работ внутри здания и для приклеивания кровли. Кровельно-гидроизоляционные мастики могут быть гудрокамполимерные (МП-70) и резинобитумные марки МБР-Г-Г-100 или 130. Такие мастики обладают повышенной эластичностью, гибкостью и морозостойкостью, их применяют для гидроизоляции горизонтальных поверхностей, герметизации стыков и вертикальных поверхностей. Мастики изол изготовляют путем смешивания резинобитумного вяжущего, полученного в результате термомеханической обработки девулканизированной резины, нефтяного битума и в ряде случаев с добавлением высокомолекулярных соединений (полиизобутилена и др.), кумароновой смолы, канифоли, антисептика и наполнителей.

Холодную мастику изол получают введением в горячую мастику 30...50% (по массе) бензина или других растворителей.

§ 14.7. Штучные изделия

Штучные гидроизоляционные изделия бывают трех видов: плиты гидроизоляционные асфальтовые, камни гидроизоляционные и сборные гидроизоляционные железобетонные изделия.

Плиты гидроизоляционные асфальтовые изготовляют путем покрытия предварительно пропитанной стеклоткани или металлической сетки слоем горячей гидроизоляционной мастики или песчаной асфальтобетонной смеси и дальнейшего прессования. Плиты бывают армированные и неармированные. Неармированные плиты выпускают длиной 80...100 см, шириной 50...60 см и толщиной 1...2 см, а армированные — длиной 100...120 см, шириной 75...120 см и толщиной 2...4 см. Плиты гидроизоляционные асфальтовые применяют для устройства оклеечной гидроизоляции и заполнения деформационных швов. Их можно использовать в зимнее время.

● **Камни гидроизоляционные** изготовляют путем пропитки естественных или искусственных пористых материалов (кирпича, бетона, туфа, опоки, мела, известняка и т. п.) битумом или каменноугольными дегтепродуктами на глубину до 10...15 мм. Камни водонепроницаемы, и применяют их для гидроизоляции в виде кладки и футеровки на цементном и асфальтовом растворах.

● **Сборные гидроизоляционные железобетонные изделия** получают путем пропитки сборных железобетонных элементов (свай,

плит, секций труб, тубингов и т. д.) органическими вяжущими на глубину 10...15 мм. Такой способ применяют для антикоррозионной гидроизоляции сооружения, подвергающегося механическим ударным воздействиям при одновременном воздействии минерализованных вод.

§ 14.8. Герметизирующие материалы

● **Герметизирующие материалы** применяют для заделки наружных швов между элементами сборных конструкций зданий и сооружений. В зависимости от назначения уплотняющего шва герметизирующие материалы выполняют следующие функции: тепло-, гидро- и звукоизоляцию и воздухопроницаемость.

По виду герметизирующие материалы делят на эластичные прокладки и мастики герметизирующие.

● **Эластичные прокладки** изготовляют в виде пористых или монолитных жгутов различной конфигурации. Устанавливают их насухо или на специальных приклеивающих мастиках. К пористым эластичным прокладкам относится пороизол, изготавливаемый путем вулканизации газонаполненной резины, модифицированной нефтяными дистиллятами. Пороизол бывает с монолитной оболочкой и без нее. Для придания пороизолу герметизирующих свойств его предварительно сжимают на 40...60% первоначального объема и помещают в шов на холодной мастике изол. Пороизол имеет плотность 250...400 кг/м³, растяжимость до 20%, восстанавливает первоначальный объем после сжатия на 50%, в течение 24 ч — на 70%; температуростойчивость пороизола 40...70°C.

В отличие от пороизола марки М — материала с незакрытыми порами на поверхности, который применяется в сочетании с холодной мастикой изол, получен новый материал — пороизол марки П — материал с защитным протектором из монолитной пленки, наличие которой позволяет применять его для герметизации наружных швов без мастики.

● **Мастики герметизирующие** делят на мастики уплотняющие и защитные. Для уплотнения швов применяют резинобитумную мастику изол Г-М и мастику УМ-40. Резинобитумную мастику изол изготовляют смешением резинобитумного вяжущего (полученного в результате термомеханической обработки девулканизированной резины и нефтяного битума) с высокомолекулярными полиизобутиленом, канифолью, кумароновой смолой, наполнителем асбестом 7-го сорта и антисептиком. Изол вводится в шов в подогретом состоянии. Уплотняющую мастику УМ-40 изготовляют смешением высокомолекулярного полиизобутилена, раствора резины и наполнителя.

Для устройства герметизирующих защитных покрытий швов применяют мастики на основе полисульфидных каучуков (тиоколовые). Тиоколовые мастики наносят на поверхность шпателем или кистью в зависимости от консистенции мастики.

§ 14.9. Экономика производства и применения кровельных и гидроизоляционных материалов

В общем выпуске всех видов кровельных материалов около 50% приходится на долю мягкой кровли. Производство и ассортимент этих изделий в СССР в последние годы значительно расширились (табл. 14.3).

Таблица 14.3. Выпуск мягкой кровли в СССР в 1950—1985 гг., млн. м²

Виды изделий	1950 г.	1955 г.	1960 г.	1970 г.	1980 г.	1985 г.
Рубероид бронированный	19,9	47,1	108,7	254,8	475	528
Рубероид	51,2	86,4	143,4	458,5	595	821,4
Рубероид подкладочный	—	—	14,9	77,8	281	283
Пергамин	72,2	124,4	193,6	203,9	146	190
Толь-кожа и толь	131,2	221,3	269,4	278,4	80,9	43,6
Стеклорубероид	—	—	—	3,4	21,2	20,5
Толь бронированный	11,1	24,3	20	31,8	—	—
Изол	—	—	—	25,1	41,9	40,5
Всего . . .	285,5	503,5	750	1333,7	1722,6	1927

Весьма эффективно применение мягкой кровли в конструкциях железобетонных крыш зданий. Железобетонные совмещенные кровли долговечнее и индустриальнее асбестоцементных. Дополнительными затратами на устройство рулонного ковра для железобетонных кровель окупаются за счет снижения затрат на монтаж конструкций.

В связи с ростом объема производства сборного железобетона для использования в кровлях жилых, гражданских и промышленных зданий улучшается и совершенствуется структура выпуска мягкой кровли — сокращается выпуск неэффективного песчаного толя, увеличивается выпуск толь-кожи для совмещенных крыш, значительно возрос выпуск рубероида с крупнозернистой посыпкой кровельных и гидроизоляционных материалов.

Дополнительные затраты на оборудование по окислению гудрона на заводах мягкой кровли, на создание установок по предварительному поливу полотна картона пропиточной массой и других окупаются экономией от снижения эксплуатационных расходов на содержание кровли.

Промышленность рулонных кровельных материалов является материалоемкой отраслью. Затраты на картон, битум и дегтепродукты составляют в общих издержках производства 75...85%. Отсюда вытекает задача экономного расходования сырья и соблюдения норм его расхода при изготовлении продукции, а также снижения себестоимости кровельного картона.

Одной из важных задач отрасли является комплексная механизация и снижение трудоемкости производства.

ГЛАВА 15

ПЛАСТМАССЫ. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ИХ ОСНОВЕ

15.А. ПЛАСТМАССЫ

● Пластмассами называют обширную группу органических материалов, основу которых составляют искусственные или природные высокомолекулярные соединения — полимеры, способные при нагревании и давлении формоваться и устойчиво сохранять приданную им форму. Главными компонентами пластмасс являются: связующее вещество — полимер; наполнители в виде органических или минеральных порошков, волокон, нитей, тканей, листов; пластификаторы; стабилизаторы, отвердители и красители.

§ 15. 1. Классификация пластмасс

● В основу классификации пластмасс положены их физико-механические свойства, структура и отношение к нагреванию.

По физико-механическим свойствам все пластмассы разделяют на пластики и эластики.

Пластики бывают жесткие, полужесткие и мягкие. Жесткие пластики — твердые упругие материалы аморфной структуры с высоким модулем упругости (свыше 1000 МПа) и малым удлинением при разрыве, сохраняющие свою форму при внешних напряжениях в условиях нормальной или повышенной температуры. Полужесткие пластики — твердые упругие материалы кристаллической структуры со средним модулем упругости (выше 400 МПа), высоким относительным и остаточным удлинением при разрыве, причем остаточное удлинение обратимо и полностью исчезает при температуре плавления кристаллов. Мягкие пластики — мягкие и эластичные материалы с низким модулем упругости (не выше 20 МПа), высоким относительным удлинением и малым остаточным удлинением, причем обратимая деформация исчезает при нормальной температуре с замедленной скоростью.

Эластики — мягкие и эластичные материалы с низким модулем упругости (ниже 20 МПа), поддающиеся значительным деформациям при растяжении, причем вся деформация или большая ее часть исчезает при нормальной температуре с большой скоростью (практически мгновенно).

По строению полимерной цепи различают пластмассы карбоцепные (цепь состоит только из атомов углерода) и гетероцепные (в состав цепи кроме углерода входят кислород, азот и другие элементы).

По структуре пластмассы делят на *гомогенные* (однородные) и *гетерогенные* (неоднородные). Структура пластмасс зависит от введения в нее наряду с полимером других компонентов. Последнее позволяет делить пластмассы на *ненаполненные*, *газонаполненные*, *наполненные* и *составные*. *Ненаполненные* пластмассы состоят из полимера, иногда из красителя, пластификатора и стабилизатора. В *газонаполненные* кроме указанных материалов входят также воздух или другой газ путем использования добавок газообразующих или воздухововлекающих веществ. В большинстве случаев для изготовления пластмассовых строительных материалов и изделий используют *наполненные* пластмассы, состоящие из полимера и наполнителя.

Наполнители бывают порошкообразные, волокнистые и слоистые. *Порошкообразные наполнители* — кварцевая мука, мел, барит, тальк — и органические (древесная мука) придают пластмассам ценные свойства (теплостойкость, кислотостойкость и т. д.), а также повышают твердость, увеличивают долговечность, снижая стоимость. *Волокнистые наполнители* — асбестовое, древесное и стеклянное волокно — широко используют в производстве пластмасс; они повышают прочность и снижают хрупкость, повышают теплостойкость и ударную вязкость пластмасс. *Слоистые наполнители* — бумага, хлопчатобумажная и стеклянная ткани, асбестовый картон, древесный шпон и другие — придают высокую прочность пластмассам. Например, асбестовый картон придает пластмассе не только высокую прочность, но и теплостойкость и кислотостойкость. Наполнители намного дешевле полимеров. Поэтому чем больше введено наполнителя, тем дешевле изделие из пластических масс.

Наряду с наполнителями в пластмассы вводят пластификаторы, красители, смазки, катализаторы и другие вещества. Для изготовления пористых пластических масс используют порообразователи.

Пластификаторы применяют для придания пластмассе большей пластичности при нормальной температуре, облегчают переработку их, снижая температуру перехода полимера в вязкотекучее состояние (например, глицерин, диокрифтатат). Количество пластификатора в пластмассе может достигать 30...50% от массы полимера. Они должны быть химически инертными, малолетучими и нетоксичными веществами.

В производстве полимеров и пластмасс применяют стабилизаторы и отвердители; первые способствуют сохранению свойств пластмасс во времени, а вторые сокращают время отверждения пластмасс, что важно в технологии производства изделий.

Красители применяют для придания пластмассам определенного цвета. Они должны быть стойкими во времени, не должны выцветать под действием света и т. д. В качестве красителей используют как органические (нигрозин, пигмент желтый, хризидин и др.), так и минеральные пигменты (охра, мумия, сурик, белила, оксид хрома, ультрамарин и др.).

Катализаторы вводят для сокращения времени отверждения пластмасс, например для фенолоформальдегидного полимера ускорителем являются известь и уротропин.

Смазывающие материалы применяют для предотвращения прилипания пластмасс к формам, в которых изготавливают изделия. В качестве смазки используют стеарин, олеиновую кислоту и др.

По отношению к нагреванию пластмассы делят на *термопластичные* и *термореактивные*.

Термопластичные материалы (полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол и др.) при нагревании размягчаются и приобретают пластичность, а при охлаждении отвердевают. Из этих материалов можно отливать, вытягивать и штамповать различные изделия. Недостатком этих пластмасс являются незначительная прочность и теплостойкость.

Термореактивные материалы (реактопласты) при нагревании переходят в неплавкое, нерастворимое твердое состояние и безвозвратно утрачивают свойства плавиться. Эти материалы обладают повышенной теплостойкостью. К ним относятся аминопласты и пластмассы на основе полиэфирных и эпоксидных смол.

§ 15.2. Основные свойства пластмасс

Пластмассы обладают рядом очень ценных физико-механических свойств. Плотность пластмасс составляет 10...2200 кг/м³.

Пластмассы обладают высокими механическими показателями. Так, пластмассы с порошкообразными и волокнистыми наполнителями имеют предел прочности при сжатии до 120...200 МПа, а предел прочности при изгибе — до 200 МПа. Прочность пластмасс на растяжение с листообразными наполнителями достигает 150 МПа, а стекловолокнистого анизотропного материала (СВАМ) — 480...950 МПа.

Пластмассы не подвергаются коррозии, они стойки против действия растворов слабых кислот и щелочей, а некоторые пластмассы, например из полиэтилена, полиизобутилена, полистирола, поливинилхлорида, стойки к воздействию даже концентрированных растворов кислот, солей и щелочей; их используют при строительстве предприятий химической промышленности, канализационных сетей, для изоляции емкостей.

Пластмассы, как правило, являются плохими проводниками тепла, их теплопроводность $\lambda = 0,23...0,8$ Вт/(м·°С), а у пено- и поропластов $\lambda = 0,06...0,028$ Вт/(м·°С), в связи с этим пластмассы широко используют в качестве теплоизоляционных материалов, их пористость может достигать 95...98%.

Пластмассы хорошо окрашиваются в любые цвета и долго сохраняют цвет.

Водопоглощение пластмасс очень низкое — у плотных материалов оно не превышает 1%.

На основе полимеров изготавливают клеи для склеивания как

пластмассовых изделий между собой, так и с другими материалами — древесиной, металлом, стеклом, тканями. Клеи могут применяться для горячего и холодного отверждения.

Ценным свойством пластмасс является легкость их обработки — возможность придания им разнообразной, даже самой сложной формы различными способами: литьем, прессованием, экструзией.

Большая группа пластмасс позволяет сваривать их между собой и, таким образом, изготавливать сложной формы трубы и различные емкости.

Синтетические пластмассы получают из многих химических веществ, например угля, нефти, извести, газа, воздуха, однако их запасы ограничены.

Пластмассы обладают рядом недостатков. Большинство пластмасс имеет невысокую теплостойкость ($70\ldots 200^\circ\text{C}$), высокий коэффициент термического расширения ($25\cdot 10^{-6}\ldots 120\cdot 10^{-6}$), повышенную ползучесть; в них при постоянной нагрузке развивается пластическое течение, большее, чем, например, в стали и бетоне. Со временем некоторые пластмассы стареют, т. е. происходит постепенное их разрушение (деструкция), снижаются прочность и твердость, появляются хрупкость, потемнение. Старение пластмасс происходит под действием света, воздуха, температуры. При возгорании многие пластмассы выделяют токсические вещества.

§ 15.3. Полимеры

● В технологии производства строительных пластмасс полимеры, получаемые синтезом из простейших веществ (мономеров), по способу производства подразделяются на два класса: класс А — полимеры, получаемые цепной полимеризацией, класс Б — полимеры, получаемые поликонденсацией и ступенчатой полимеризацией. Наиболее распространенными полимерами, применяемыми в производстве строительных материалов, являются: по классу А — полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полиизобутилен, полистирол, поливинилацетат, полиакрилаты и кумароноинденовые полимеры; по классу Б — фенолоальдегидные, фенолоформальдегидные и резорциноформальдегидные полимеры, полимеры на основе амидо- и аминокформальдегидной поликонденсации, глифталевый полимер, полиуретаны, полиэфирмалеиновые и полиэфиракрилатные полимеры, а также кремнийорганические и эпоксидные полимеры.

15.Б. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ПЛАСТМАСС

Строительные материалы и изделия, изготавливаемые на основе полимеров, дефицитны и дороги. Это объясняется недостаточным объемом производства полимеров и их относительно высокой стоимостью. Основное требование к пластмассам — минимальный

расход полимера на единицу готовой продукции. Это требование выявило основные области их использования в строительстве, к ним следует отнести: материалы для покрытия полов; внутренней отделки стен, потолков и встроенной мебели; для строительных конструкций; погонажные строительные изделия; синтетические клеи и мастики; тепло- и звукоизоляционные материалы; кровельно-гидроизоляционные и герметизирующие материалы; санитарно-техническое оборудование, трубопроводы и арматура; синтетические лакокрасочные материалы.

Сведения о тепло- и звукоизоляционных, кровельно-изоляционных, герметизирующих, а также синтетических лакокрасочных материалах на основе полимеров даны в соответствующих главах книги.

§ 15.4. Материалы для покрытия полов

Полимерные материалы находят широкое применение для покрытия полов. Они устойчивы против истирания, малотеплопроводны, имеют небольшое водопоглощение, не набухают при увлажнении, достаточно тверды и прочны, отличаются высокими лакокрасочными качествами, т. е. отвечают всем требованиям, предъявляемым к полам.

Материалы для полов делят на три группы: рулонные (линолеумы), плиточные и материалы для устройства бесшовных полов.

РУЛОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

● Рулонные материалы для покрытия полов изготавливают на основе различных полимеров и наполнителей. В их состав вводят также пластификаторы, пигменты и технологические добавки. В зависимости от вида применяемого полимера различают глифталевые (полиэфирные), поливинилхлоридные, коллоксилиновые, резиновые (релин) и другие для покрытия полов; по структуре — безосновные и с упрочняющей основой или тепло- и звукоизолирующей основой, однослойные, многослойные и ковровые покрытия с гладкой, рифленой и ворсистой поверхностью, одно- и многоцветные.

Алкидный линолеум изготавливают на основе модифицированного глифталевого полимера с введением в него наполнителей (пробковой или древесной муки), пигментов и других добавок. Его выпускают в рулонах длиной 20 м, шириной 1,8...2,0 м и толщиной 2,5...3 мм. Технологический процесс изготовления алкидного линолеума складывается из следующих основных операций: 1) окисления и полимеризации (оксиполимеризация) растительных масел в линоксиновых аппаратах под действием кислорода воздуха и температуры $60\ldots 90^\circ\text{C}$; 2) приготовления линолеумного цемента (придания ему достаточной жесткости и эластичности); 3) приготовления линолеумной массы на смесительных ма-

шинах, где цемент смешивают с наполнителями и красителями; 4) формования линолеума — линолеумная масса наносится на джутовую основу с помощью каландра слоем заданной толщины, после чего полученная лента следует на вторую пару вальцов для полирования; 5) грунтовки основы и вызревания — изготовленная лента линолеума направляется для грунтовки основы масляной краской или эмульсией в целях предохранения джутовой ткани от гниения, а затем направляется в сушильные камеры для окончательного вызревания; в процессе вызревания при температуре $65...80^{\circ}\text{C}$ в течение 5 сут линолеум приобретает необходимые свойства — упругость, эластичность и стойкость на истирание; 6) обрезки кромок, разрезки на куски и упаковки.

Глифталевый линолеум выпускают с одно- или многоцветным рисунком. При производстве печатного линолеума вводятся дополнительные процессы: приготовление красок, нанесение узора на поверхность и вторичная сушка линолеума. Укладывают глифталевый линолеум на холодную битумную, резинобитумную типа изол, канифольную или казеиноцементную мастику и клей бустилат. Глифталевый линолеум обеспечивает получение мало-теплопроводных полов без специальных дополнительных теплоизолирующих прослоек. Применяют глифталевый линолеум для покрытия полов жилых и гражданских зданий.

Поливинилхлоридный линолеум изготавливают из поливинилхлорида, наполнителей, пластификаторов, пигментов и других добавок. Выпускают его на тканевой основе и безосновный. Безосновный линолеум может быть одно-, двух- или многослойным. Его выпускают в рулонах длиной не менее 12 м, шириной $1200...2400$ мм, толщиной $1,5...2,1$ мм. Многослойный линолеум выпускают с лицевым слоем из прозрачной поливинилхлоридной пленки с печатным рисунком, одноцветный или мраморовидный, а однослойный — одноцветный или мраморовидный. Кроме того, выпускают тепло- и звукоизоляционный линолеум на войлочной или пористой основе. Поливинилхлоридный линолеум имеет большую прочность, хорошую сопротивляемость, не подвержен гниению, имеет малую теплопроводность и гигиеничен.

Поливинилхлоридный линолеум производят обычно двумя способами: вальцево-каландровым (безосновный линолеум) и промазным. Для изготовления поливинилхлоридного линолеума в качестве связующего применяют поливинилхлорид. В качестве пластификатора используют дибутилфталат, наполнителями могут быть тальк, барит (тяжелый шпат), каолин, асбест; для придания линолеуму цвета применяют минеральные краски: мумию, сурик железный, охру, крон свинцовый, крон цинковый, ультрамарин, сажу газовую, белила цинковые и литопон. В состав композиции вводят также стабилизатор, трансформаторное масло в качестве разбавителя композиционной массы и стеарат кальция для уменьшения прилипания к вальцам в сырьевой массе. В качестве основы применяют кордельную, полукордельную, джутовую и джутово-кенайную ткань. Тепло- и звукоизоляционные

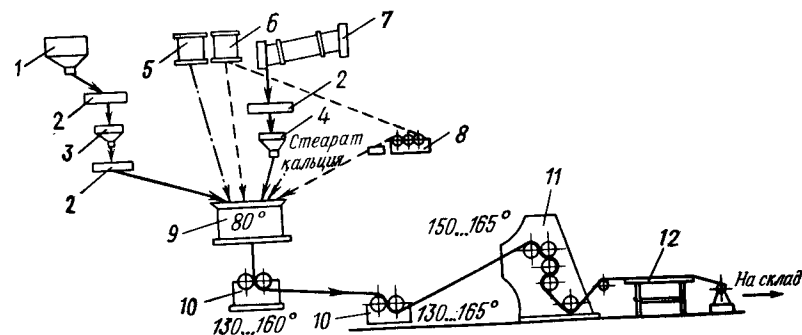


Рис. 15.1. Технологическая схема производства поливинилхлоридного линолеума вальцево-каландровым способом:

1, 3 — бункер для поливинилхлорида; 2 — вибрационные сита; 4 — бункер для барита; 5 — мерник дибутилфталата; 6 — мерник трансформаторного масла; 7 — сушильный барабан для барита; 8 — краскотерка; 9 — смеситель; 10 — смесительные вальцы; 11 — каландр; 12 — браковочный стол

линолеумы выпускают на специальной войлочной или пористой основе.

Вальцево-каландровый способ производства безосновного линолеума (рис. 15.1) состоит из следующих основных операций: приготовления композиционной массы, вальцевания и каландрирования.

Приготовление композиционной массы осуществляется в смесителе, куда при работающем смесителе последовательно загружают дибутилфталат, трансформаторное масло, краситель, стеарат кальция, поливинилхлорид, стабилизатор и наполнитель. Смесь перемешивают в течение 2 ч при температуре 80°C , после чего выдерживают для набухания и созревания в емкостях при нормальной температуре в течение 24 ч. Подготовленную массу далее обрабатывают на смесительных вальцах при температуре $130...165^{\circ}\text{C}$ до получения пластика с гладкой поверхностью. Затем материал срезают с вращающегося вальца и направляют на обогреваемые паром каландры. Каландрирование производят при температуре $150...165^{\circ}\text{C}$. При этом происходит формирование непрерывной ленты линолеума необходимой толщины и ширины, уплотнение массы и удаление из нее воздуха. С каландра лента поступает на холодильные барабаны, а оттуда на разбраковочный стол для обрезки кромок и разрезки полотна на куски определенной длины, сортировки и упаковки.

Примерный состав линолеумной массы однослойного безосновного линолеума (% по массе) следующий: поливинилхлорид — $30...40$, наполнитель (асбест) — $50...60$, пластификатор (дибутилфталат) — $10...15$, технологические добавки — $1...2$ и краситель — $1...2$.

Изготовление линолеума на тканевой основе промазным способом (рис. 15.2) можно разделить на следующие основные операции: подготовку сырья и материалов; приготовление лино-

Рис. 15.2. Технологическая схема производства линолеума промазным способом:



леумной массы; нанесение линолеумной массы на тканевую или войлочную основу; теплообработку; охлаждение; обрезку, сортировку и упаковку. Сначала готовят пасту из поливинилхлорида — 60%, пластификатора (дибутилфталата) и разбавителя (минерального масла) — 40%. Затем готовят линолеумную массу, состоящую из поливинилхлоридной пасты — 45%, порошка поливинилхлорида — 9%, пигмента, тертого на пластификаторе, — 3% и наполнителя (барит) — 43%. Эти компоненты сначала перемешивают в течение 2 ч в смесителе, а затем направляют в краскотерку для лучшего смешения компонентов. Полученная масса поступает в грунтовальный агрегат для одноразового нанесения слоя или для нанесения 6...7 тонких слоев на ткань с тепловой обработкой каждого слоя в сушильно-желировочной камере при 160...190°C, где происходит образование пленки на поверхности линолеумной массы, а затем на вальцах с температурой 140...145°C. После этого линолеум поступает на холодильные вальцы с температурой до 25°C, где он постепенно охлаждается. Заключительными процессами являются продольная обрезка кромок, поперечная разрезка полотна, разбраковка, сматывание в рулоны и упаковка их в бумагу или ткань.

Для приклеивания линолеума применяют следующие мастики: кумаронокаучуковую, битумную, резинобитумную — изол, канифольную, казеиноцементную и клей бустилат.

● **Поливинилхлоридный теплозвукоизоляционный линолеум на волокнистой основе** представляет собой двухслойный отделочный материал: верхний слой — поливинилхлоридная пленка, нижний — антисептированная неткановолокнистая подкладка. Применяют его для покрытия полов в жилых зданиях, больницах и детских учреждениях, а также в производственных учреждениях, где требуются теплые полы. Укладывают в виде сварных ковров «на комнату» непосредственно на железобетонные перекрытия, не приклеивая к ним, а укрепляя по периметру плитинсом.

Поливинилхлоридную пленку изготавливают из поливинилхлоридной смолы, пластификаторов и технологических добавок. Не-

ткановолокнистую основу изготавливают из лубяных волокон (вытряска из-под чесальных машин — 100%) вязально-прошивочным способом.

Производство поливинилхлоридного теплозвукоизоляционного линолеума на волокнистой основе ведут двумя способами: промазным (путем намазки массы на основу) и вальцево-каландровым (дублирование поливинилхлоридной пленки с основой). Технология производства линолеума на волокнистой основе промазным способом аналогична рассмотренной выше, отличается лишь применением волокнистой основы взамен тканевой. При вальцево-каландровом способе производства волокнистая основа дублируется на барабанном прессе с одной или несколькими поливинилхлоридными пленками, образующими лицевой слой.

Линолеум на волокнистой основе выпускают на двух технологических линиях (рис. 15.3): на одной изготавливают поливинилхлоридные пленки, на другой ведут дублирование пленок с волокнистой основой. Для лучшего сцепления войлочной основы и поливинилхлоридной пленки перед дублированием на основу наносят клеящую поливинилхлоридную пасту слоем 0,2 мм. Линолеум на волокнистой основе производят в рулонах длиной 25...30 м, шириной 1600...1700 мм, толщиной 3,0...3,5 мм, плотностью 800...900 кг/м³, истираемостью 0,03 г/см², пределом прочности при растяжении 13...15 МПа, звукоизоляцией от ударного звука до 2 дБ.

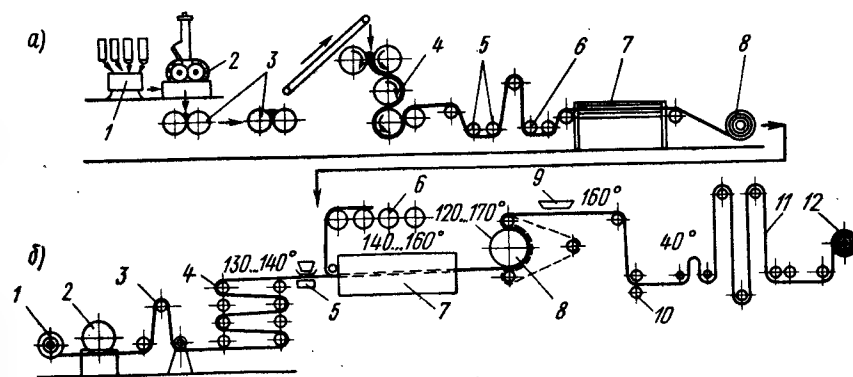


Рис. 15.3. Технологическая схема производства линолеума вальцево-каландровым способом:

а — линия получения лицевой пленки: 1 — расходные бункера (поливинилхлорида, наполнителей, красителя и пластификатора); 2 — смеситель; 3 — краскотерка; 4 — вальцы; 5 — каландр; 6 — охлаждающие вальцы; 7 — кромкорезательная машина; 8 — намотка линолеума; б — линия дублирования лицевой пленки с основой: 1 — рулон с войлоком; 2 — сшивная машина; 3 — компенсатор; 4 — обогревательные плиты для войлока; 5 — грунтонозное устройство; 6 — бобины; 7 — сушильная камера; 8 — барабанный пресс; 9 — дополнительный обогрев; 10 — обжимные вальцы; 11 — компенсатор; 12 — готовая продукция

● **Ворсолин** — теплозвукоизоляционное покрытие полов — представляет собой нетканый двухслойный материал: верхний слой — петельный ворс (или беспетлевой) из синтетической пряжи одно- или многоцветной (смеси капрона с медно-аммиачными волокнами в соотношении 1:1) и нижний — поливинилхлоридная пленочная основа. Ворсолин изготовляют в виде рулонов длиной 12...20 м и шириной 1,0 м. Его применяют для покрытия полов непосредственно по железобетонному или несущему основанию размером «на комнату» в жилых и общественных зданиях с повышенными акустическими и теплотехническими требованиями.

● **Коллоксилиновый (нитроцеллюлозный) линолеум** изготовляют на основе коллоксилина (нитроцеллюлозы), пластификаторов (дибутилфталата, трикреозотилфосфата), наполнителей (гипса, глинозема, асбеста, пиритных огарков) и красителей. Для придания коллоксилину негорючести в состав линолеума вводят антипиренборную кислоту, а для стабилизации свойств — стабилизаторы (центролит № 1 и 2, представляющий собой производные мочевины или замещенные уретаны). Его выпускают в рулонах длиной не менее 12 м, шириной 1000...1200 мм и толщиной 2...4 мм. Коллоксилиновый линолеум укладывают на твердое гладкое основание на кумаронокаучуковую или коллоксилиновую мастику. Коллоксилиновый линолеум запрещается применять для театрально-зрелищных предприятий и детских учреждений.

● **Резиновый линолеум** — релин — представляет собой двух- или трехслойный рулонный материал с износостойким декоративным верхним слоем. В качестве основного сырья для производства релина применяют дробленую старую резину и нефтяной битум или близкий к нефтяному битуму продукт — руброкс и асбест 7-го сорта. Из них изготовляют нижний подкладочный слой. В состав нижнего слоя вводят также серу (для вулканизации резины), ускорители процесса вулканизации совместно с оксидом цинка, парафином (для облегчения переработки массы). Верхний декоративный слой изготовляют из синтетического каучука с добавкой серы, ускорителей, красителей и наполнителя. В качестве наполнителей применяют белую сажу (силикагель), каолин и древесную муку.

Технологический процесс производства релина состоит из дробления старой резины; изготовления битумно-резиновой смеси для нижнего слоя; каландрирования битумно-резиновой смеси в полотно; изготовления цветной резиновой смеси для верхнего слоя; каландрирования цветной резиновой смеси в полотно; дублирования двух слоев и вулканизации материалов; охлаждения, вылеживания, раскроя, отбраковки и упаковки. Релин выпускают в рулонах длиной не менее 9 м, шириной 1000...1400 мм и толщиной $(3 \pm 0,2)$ мм, одно- и многоцветным (мраморовидным). Цветостойкость релина высокая, он водостоек, имеет повышенную износостойчивость, существенно не меняет своих свойств при колебаниях температуры от -25 до $+85^\circ\text{C}$, обладает малой

звукопроницаемостью, химической стойкостью и высокими диэлектрическими свойствами.

Релин предназначен для покрытия полов в жилых, общественных и промышленных зданиях с повышенной влажностью.

ПЛИТОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

● В настоящее время для покрытия полов используют плиточные материалы, изготовленные на основе полимеров, пластификаторов, наполнителей и пигментов. Полы из этих плиток обладают малой истираемостью, долговечностью и химической стойкостью. Плитки приклеивают на хорошо выровненное бетонное, асфальтовое или ксилолитовое основание специальными клеями или мастиками.

В зависимости от вида используемого сырья плиточные материалы для покрытия полов делят на поливинилхлоридные, кумарополивинилхлоридные, кумароновые, битумные, резиновые и фенолитовые плитки, древесноволокнистые и древесностружечные плиты, в которых в качестве связующего используют карбамидные и фенольные полимеры, а наполнителя — древесину.

Плитки для полов по форме бывают квадратные, прямоугольные и фигурные; по конструкции — одно- и многослойные, с прямоугольными гранями и со шпунтом и гребнем; по цвету — одно- и многоцветные, а по фактуре лицевой поверхности — с гладкой или рифленой поверхностью. Использование плиток для полов позволяет получать самые разнообразные полы по рисунку и цветам. Поврежденные участки пола из плиток легко поддаются ремонту.

Однако полы из плиток не индустриальны, содержат большое количество швов; долговечность и гигиеничность плиточных полов ниже линолеумных. Плиточные материалы для полов применяют в жилых, общественных и промышленных зданиях. Стружечные и волокнистые плиты запрещается использовать в помещениях с повышенной влажностью. Их кладут по стяжкам, имеющим влажность не более 10%. Применение битумных плиток для полов в жилых домах запрещается. Плиточные полы экономичнее, чем дощатые, хотя укладка их более трудоемка.

Поливинилхлоридные плитки изготовляют на основе поливинилхлорида с использованием в качестве пластификатора дибутилфталата, наполнителя — древесной муки и талька. Для придания необходимого цвета вводят пигменты. Технологический процесс изготовления плиток состоит из подготовки и дозирования сырья, тщательного смешения компонентов в смесителе, вальцевания смеси, каландрирования, вырубки плиток на прессе, разбраковки и упаковки готовых плиток. Поливинилхлоридные плитки выпускают следующих размеров: 150×150 , 200×200 , 300×300 мм, толщиной 2 и 3 мм и различных цветов, в том числе и мраморовидные. Поливинилхлоридные плитки используют не

только для полов, но и для облицовки стен. В этом случае плитки изготовляют толщиной 1,2 мм.

Кумаронополивинилхлоридные плитки производят из поливинилхлоридного и кумаронового полимера. В качестве пластификатора добавляют дибутилфталат, а в качестве наполнителя — древесную муку, тальк. Для окраски в массу вводят пигменты. Плитки выпускают следующих размеров: 150×150, 200×200 и 300×300 мм. Кумаронополивинилхлоридные плитки гигиеничны, химически стойки, поэтому их применяют в местах с повышенной влажностью.

Кумароновые плитки изготовляют из связующего кумаронового полимера, пластификатора — льняного масла, иногда вводят добавку технического стеарина. Наполнителями для кумароновой плитки являются асбест, древесная мука и тальк. Для окраски плиток можно использовать как минеральные, так и органические пигменты. Кроме того, при приготовлении линолеумной массы для получения хорошего внешнего вида вводят воск, а для лучшей обрабатываемости массы на вальцах — до 3% канифоли (от массы смеси). Технологическую схему производства кумароновых плиток (рис. 15.4) можно разбить на следующие основные операции: подготовку и дозирование сырья, приготовление связующего и плиточной массы, вальцевание и каландрирование массы, вырубку плиток на прессе, разбраковку плиток. Плитки выпускают размером 150×150 и 200×200 мм, толщиной 3 мм. Кумароновые плитки обладают высокой твердостью — не более 0,1 мм, истираемостью не более 0,08 г/см², водопоглощением за 24 ч не более 1%, упругостью не менее 40%. Укладку кумароновых плиток ведут при температуре не ниже 15°C на холодных битумных мастиках или на кумаронокаучуковой мастике. Полы из кумароновых плиток износостойчивы, гигиеничны, хорошо моются, водостойки, огнестойки. Их рекомендуется применять в помещениях, рассчитанных на посещение большого количества людей (больницы, школы, кафе, рестораны и т. д.).

Фенолитовые плитки изготовляют из новолачного фенолформальдегидного полимера, отвердителя и порошкообразных наполнителей минерального или органического происхождения (каолина, талька, слюды, древесной муки и др.). Подготовленный пресс-материал в виде порошка прессуют в многоступенчатых пресс-формах при температуре 160...170°C под давлением 20...25 МПа в течение 5...6 мин, после чего пресс-форму разгружают и извлекают готовые плитки. Фенолитовые плитки для полов изготовляют размером 150×150 мм и толщиной 4...6 мм, а для облицовки стен — 100×100×1,5 и 150×150×1,5 мм. Фенолитовые плитки обладают высокой механической прочностью, теплоустойчивостью, кислотостойкостью и малым водопоглощением; потеря в массе при истирании не превышает 0,03 г/см², а водопоглощение через 24 ч не более 0,1%. Фенолитовые плитки применяют не только для настилки полов, но и для облицовки

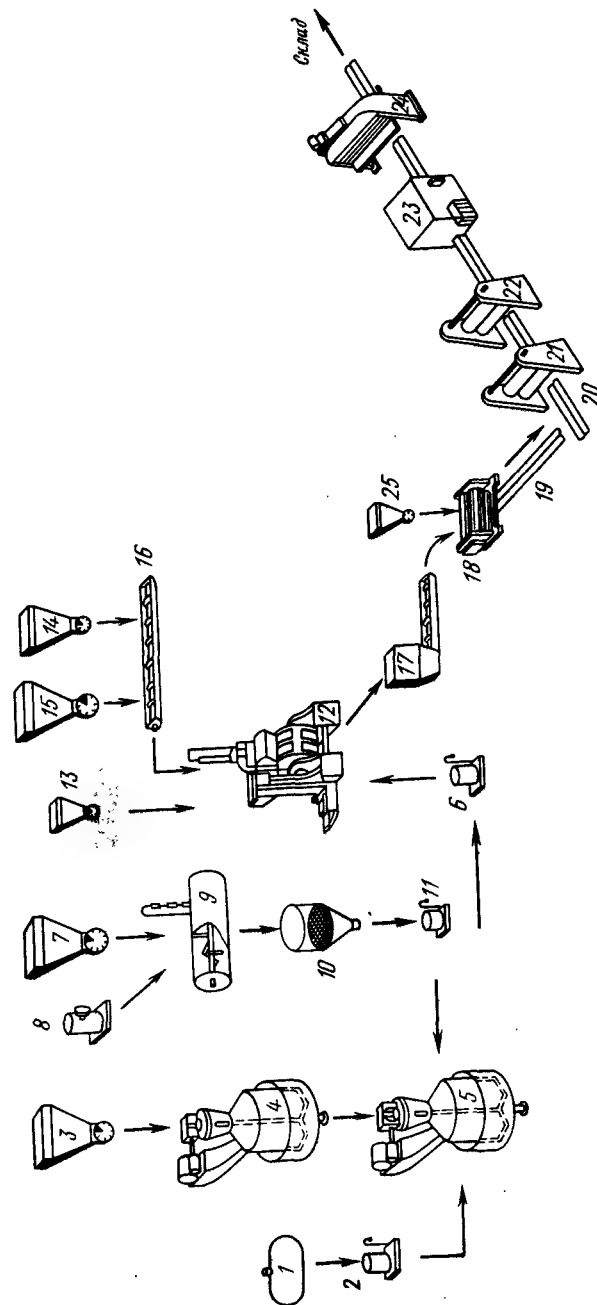


Рис. 15.4. Схема производства кумароновых плиток.

1 — кубовые остатки СМК; 2 — автоматический дозатор; 3 — бункер с весами для кумаронового полимера и канифоли; 4 — котел для плавления полимера; 5 — реактор; 6 — дозатор для связующего; 7 — бункер с весами для известки; 8 — дозатор для известки; 9 — известково-полимерная масса; 10 — бак с сеткой; 11 — дозатор для известкового молока; 12 — смеситель для масла; 13 — бункер с весами для пигментов; 14 — бункер с весами для наполнителей; 15 — смеситель для асбеста; 16 — шнек для транспортирования наполнителей; 17 — каландры; 18 — вальцы; 19 — вальцы; 20 — передаточный транспортер; 21, 22 — каландры; 23 — термокамера; 24 — высеочный пресс; 25 — бункер с цветной крошкой

стен некоторых производственных и культурно-бытовых помещений.

Резиновые плитки изготовляют из отходов резины. Они обладают повышенной износоустойчивостью, химической стойкостью и хорошими диэлектрическими показателями. Имеют высокие прочностные показатели не только на изгиб, но и на удар, что весьма важно при эксплуатации полов в промышленных зданиях. Резиновые плитки производят размером 150×150, 200×200 и 300×300 мм, толщиной 3 и 5 мм. Резиновые плитки применяют для устройства полов в цехах химических заводов, лабораториях, электростанциях и т. д.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВА БЕСШОВНЫХ ПОЛОВ

● **Монолитные бесшовные полы, изготовляемые на основе полимерных материалов, являются наиболее гигиеничными и удобными в эксплуатации, обладают высокой прочностью на истирание.**

Составы для устройства бесшовных полов изготовляют на основе полимеров, наполнителей и цемента (для полимерцементных составов). В зависимости от исходного сырья бесшовные полы делят на три вида: поливинилацетатные, полимерцементные и полимербетон. По консистенции составы могут быть пластичные, которые укладывают с помощью укладочных машин или виброприспособлений, и наливные, которые наносят распылением или разливом; по назначению — для лицевого слоя, стяжки и шпаклевочного слоя. Составы всех видов монолитных полов должны обеспечивать возможность получения ровной, без стыков, наплывов, раковин и шероховатостей поверхности по всей площади, с однородным цветом. Покрытие не должно отслаиваться от основания, трескаться и шелушиться при эксплуатации.

Бесшовные покрытия для полов из поливинилацетатных мастик и полимерцементных составов применяют для жилых, общественных и промышленных зданий и сооружений. Поливинилацетатные составы в помещениях с повышенной влажностью, а также в промышленных зданиях с возможными ударными нагрузками или транспортом на жестком ходу не применяют. В строительной практике наибольшее использование находят поливинилацетатные мастики и полимерцементные составы.

Из **поливинилацетатной мастики** бесшовные полы могут быть устроены одно- и двухслойными. Однослойное наливное покрытие устраивают на хорошо подготовленной ровной поверхности толщиной 1,5...2 мм. В зависимости от интенсивности движения и условий эксплуатации пола толщина лицевого слоя может быть увеличена до 4 мм. При неудовлетворительном состоянии основания применяют двухслойные покрытия толщиной 3...4 мм.

Поливинилацетатные дисперсии приготавливают из связующего, наполнителя, красителя и воды. В качестве связующего применяют поливинилацетатную эмульсию заводского изготовления,

содержащую 50% сухого поливинилацетата и 7,5% пластификатора — дибутилфталата. Наполнителями мастики являются мелкодисперсный кварцевый песок и естественный маршаллит крупностью 0,2...0,04 мм, для устройства светлых полов применяют молотый известняк и мелкий мрамор. Для придания мастике различного цвета используют кислото- и светоустойчивые минеральные пигменты — мумию, охру, ультрамарин, сурик железный и др. В целях повышения водостойкости мастичных составов поливинилацетатную эмульсию необходимо обработать раствором формалина и соляной кислоты при температуре 50°C в течение 1 ч. Для сокращения сроков твердения и повышения прочности пленки в мастику вводят карбамидные полимеры с отвердителем — фторофосфорной кислотой.

Полимерцементные составы для устройства бесшовных полов изготовляют из поливинилацетатной эмульсии или эмульсии дивинилстирольного каучука (латекса), портландцемента, песка, мраморной или гранитной крошки и минеральных пигментов. Примерный состав полимерцементных мастик для одноцветного объемного покрытия: портландцемента М400 — 17,5%, поливинилацетатной эмульсии 50%-ной — 7,3%, наполнителя — 70% и пигмента — 5,2%; для полимерцементной стяжки: портландцемента М400 — 13,5%, поливинилацетатной эмульсии 50%-ной — 5,5% и наполнителя — 80% (по массе). Для придания мастике удобоукладываемой консистенции вводят 45...55% воды от массы цемента. Полимерцементные полы устраивают одно- и двухслойными, одно- и многоцветными. Полимерцементные составы обладают высокими адгезионными свойствами. Они обеспечивают прочное сцепление с основанием и имеют высокую механическую прочность.

§ 15.5. Материалы для внутренней отделки стен

● **Облицовочные материалы из пластических масс по своим декоративным качествам, разнообразию расцветок и рисунков, яркости красок, а также гигиеничности превосходят все другие отделочные материалы.** Для внутренней отделки стен и потолков применяют три вида материалов из пластмасс: рулонные, листовые и плиточные.

Рулонные материалы для внутренней отделки помещений изготовляют на полимерах — пластификаторах, наполнителях, пигментах и красителях на основе или без нее. В качестве основы можно использовать картон, бумагу, хлопчатобумажную ткань и т. д. Из рулонных материалов наибольшее применение получили пленочные материалы, линкруст и дерматин. Из пленочных материалов особый интерес представляет поливинилхлоридная пленка.

Пленку поливинилхлоридную с клеевым слоем изготовляют путем нанесения на поливинилхлоридную пленку невясышающего клеевого слоя, защищенного специально обработанной бума-

гой. Пленки выпускают различных видов: непрозрачные, окрашенные в масле, с тисненым или печатным рисунком. Пленка характеризуется гигиеничностью, водо-, паро- и газонепроницаемостью. Размеры пленок: толщина — 0,1...0,2 мм, ширина — 500, 600 и 750 мм, длина — 12 м. Поливинилхлоридную пленку с клеевым слоем применяют для отделки стен жилых и общественных зданий, санузлов, кухонь, коридоров, перегородок, дверных полотен и встроенной мебели.

Пленку поливинилхлоридную отделочную на бумажной основе изготавливают различного цвета с разнообразной фактурой тиснения лицевой поверхности. Она стойка к воздействию слабых растворов щелочей, кислот (10%), горячих мыльных растворов, органических реагентов и дезинфицирующих составов. При этом она не меняет цвета и фактуры поверхности. Пленку выпускают в виде рулона толщиной 0,1...0,8 мм, шириной 500, 600, 750 мм и длиной 40 м. Пленку поливинилхлоридную отделочную на бумажной основе применяют для внутренней отделки стен жилых, общественных и производственных зданий.

Безосновные пленки изготавливают прозрачные, полупрозрачные и непрозрачные, окрашенные в массу, с печатным рисунком и тиснением. Пленки характеризуются водо-, паро- и газонепроницаемостью. Размеры пленок: толщина — 0,1...0,15 мм, ширина — 1000...1800 мм, масса 1 м² — 20 г. Декоративную безосновную пленку применяют в качестве занавесей, штор, драпировок и для обтяжки внутренних стен в зданиях различного назначения. Указанные выше пленки наклеивают на ровную, хорошо подготовленную поверхность целлюлозным клеем.

Линкруст представляет собой рулонный материал, состоящий из бумажной основы, покрытый слоем пластической массы. Линкруст бывает стеновой и бордюрный, окрашенный и неокрашенный в массу; по фактуре поверхности — гладкий и рельефный. Изготавливают его путем нанесения на одну сторону бумажной основы тонкого слоя пасты, состоящей из поливинилхлоридного наполнителя (пробковой или древесной муки), пластификатора и красителя. Линкруст производят в рулонах длиной 12 м, толщиной 0,6 и 1,2 мм, ширина стенового линкруста 500, 600 и 750 мм, а бордюрного — 100 и 350 мм. Линкруст водо- и гниlostоек, хорошо сопротивляется механическим воздействиям, не выцветает на солнце. Применяют его для отделки стен, перегородок и встроенной мебели в жилых, общественных и промышленных зданиях.

Дерматин изготавливают на тканевой основе с покрытием лицевого слоя тонкой пленкой поливинилхлоридной пасты. Он бывает окрашенный в массу, гладкий и рифленый. Его выпускают в рулонах длиной 40 м, шириной 750 и 1000 мм и толщиной 0,5 и 0,8 мм. Применяют дерматин для отделки стен, перегородок и мебели в жилых, общественных и промышленных зданиях.

Листовые материалы для внутренней отделки зданий изготов-

ляют следующих видов: декоративный бумажнослоистый пластик, древеснослоистый пластик, бакелизированная и декоративная фанера, древесностружечные и древесноволокнистые плиты.

Декоративные бумажнослоистые пластики представляют собой листовой материал, который получают путем горячего прессования специальных бумаг, пропитанных полимерами. Для внутренних слоев применяют бумагу из небеленой сульфатной целлюлозы, которую пропитывают фенолоформальдегидным полимером. Для лицевой стороны используют кроющую бумагу из беленой сульфатной целлюлозы, которую пропитывают карбамидным полимером. Технология производства бумажнослоистого пластика осуществляется по следующей схеме. Сначала производят пропитку бумаги растворами полимеров, которые высушивают и разрезают на форматы листов готового изделия. Далее листы укладывают в пакеты и подвергают горячему прессованию. Процесс изготовления заканчивают обрезкой кромок.

Декоративный бумажнослоистый пластик выпускают длиной 1...3 м, шириной 600...1000 мм, толщиной 1...5 мм, однотонным и с текстурной поверхностью, имитирующей ценные породы древесины или камня. Он имеет следующие физико-механические показатели: плотность — 1400 кг/м³, водопоглощение за 24 ч — не более 4% и предел прочности при изгибе — 100 МПа. Бумажнослоистые пластики выдерживают нагрев до 120°C, не теряют блеска при кипячении, обладают достаточной водостойкостью. Их относят к группе сгораемых материалов, но при пропитке бумаг антипиренами можно получить материалы пониженной горючести.

Слоистые пластики к стенам можно крепить гвоздями, шурупами, деревянными рейками или с помощью клеев (мочевинно-формальдегидного или фенолорезорцинового), мастик (дифенольная мастика), а также раскладок из поливинилхлорида.

Древеснослоистые пластики представляют собой листовой материал, состоящий из листов древесного шпона, пропитанных раствором полимера резольного типа и склеенных между собой в процессе тепловой обработки под давлением. Процесс производства древеснослоистых пластиков состоит из следующих основных операций: 1) подготовки шпона, его высушивания и раскроя на листы; для получения большей твердости и прочности шпона проводят выщелачивание 3...5%-ным раствором серного натра при 70...80°C; 2) пропитки шпона при давлении 0,5 МПа в течение 30 мин раствором полимера, для чего древесный шпон укладывают в кассеты и подают в автоклав, где сначала создают вакуум, отсасывают влагу и воздух, а затем подают водный или спиртовой раствор полимера; 3) пропитанный шпон укладывают в пакеты и на многоступенчатом гидравлическом прессе горячим прессованием склеивают листы. Процесс изготовления пластика заканчивается обрезкой кромок.

Древеснослоистый пластик производят длиной 0,7...5,6 м, шириной 900...1200 мм и толщиной 2 мм и более. Физико-меха-

нические свойства древеснослоистых пластиков характеризуются следующими показателями: плотность — 1330...1450 кг/м³, предел прочности при растяжении вдоль волокон — 140...300 МПа, при сжатии — 125...180 МПа, водопоглощение за 24 ч — 5...10%, влажность — не более 7%. Марка древеснослоистого пластика зависит от расположения волокон древесины в шпоне. Древеснослоистые пластики обладают достаточно высокой теплоустойчивостью и низкой теплопроводностью 0,16...0,28 Вт/(м·°С), стойки к маслам, органическим растворителям и действию атмосферы. Они легко поддаются механической обработке. Древеснослоистые пластики применяют в жилых, общественных и промышленных зданиях как отделочный и конструктивно-отделочный материал.

Древесностружечными плитами называют листовые материалы, которые получают горячим прессованием древесных стружек, пропитанных полимером. В процессе горячего прессования стружки уплотняются, а полимер из вязкотекучего состояния превращается в твердое, склеивая при этом наполнитель в монолит. Древесностружечные плиты изготавливают из древесины хвойных и лиственных пород. В качестве связующего для изготовления плит применяют высококачественную карбамидную смолу. Для придания ей повышенной водостойкости в стружку вводят парафиновую эмульсию, для большей биостойкости — антисептики (например, пентахлорфенол), а для огнестойкости — антипирены (сульфат или фосфат аммония и др.).

Изготавливают древесностружечные плиты прерывным или непрерывным способом. По прерывному способу (рис. 15.5) измельченную и высушенную стружку смешивают с полимером и

направляют на формовочные рамы, где подвергают холодной подпрессовке на одноэтажных прессах при давлении 0,5...2,0 МПа. Затем отформованные плиты поступают на полки многостадийного гидравлического пресса, где их прессуют под давлением 3,5 МПа при температуре 160...190°С. Опрессованные плиты снимают с полок пресса и на 4...7 сут направляют на склад, где они набирают необходимую прочность. Завершается процесс изготовления плит обрезкой и шлифовкой. По непрерывному способу формование и горячее прессование массы производят в ленточном гусеничном прессе или методом выдавливания (экструзии). Древесностружечные плиты выпускают офактуренные и неофактуренные.

Физико-механические свойства древесностружечных плит характеризуются следующими показателями: плотность — 500...800 кг/м³, предел прочности при статическом изгибе — 13,0...21,5 МПа, предел прочности при растяжении — 0,3...0,35 МПа, разбухание гидрофобизированных — 14...18% и негидрофобизированных плит — 22...25%.

Древесностружечные плиты производят методами плоского периодического и непрерывного прессования. Плиты имеют размеры: длина — 1800...3500 мм, ширина — 1220...1750 мм и толщина — 4...100 мм; их выпускают различной плотности.

Плиты и готовые изделия могут быть облицованы бумагой, пропитанной мочевиноформальдегидным или меламиноформальдегидным полимером. Облицовка бумагой позволяет получить строительные детали с самой разнообразной по цвету, рисунку и фактуре поверхностью. Древесностружечные плиты применяют для внутренней облицовки стен, изготовления встроенной и передвижной мебели, дверных полотен, панелей, а также для обшивки потолков. Крепят плиты на гвоздях, шурупах или на мастиках, например казеиноцементной, кумароновой и др. Хранить древесностружечные плиты необходимо в закрытых складских помещениях, не подвергая резким колебаниям температуры и влажности.

Древесноволокнистые плиты представляют собой листовые материалы, состоящие из органических волокнистых наполнителей, связанных полимером путем горячего прессования. В качестве сырьевых материалов применяют древесину, камыш, кедр и другие волокнистые растения. Древесноволокнистые плиты выпускают пяти видов: 1) сверхтвердые плотностью $\gamma \geq 950$ кг/м³ с пределом прочности при изгибе $R \geq 50$ МПа; 2) твердые — $\gamma \geq 850$ кг/м³, $R \geq 40$ МПа; 3) полутвердые — $\gamma \geq 400$ кг/м³, $R \geq 15$ МПа; 4) изоляционно-отделочные — $\gamma = 250...350$ кг/м³, $R \geq 2$ МПа; 5) изоляционные — γ до 250 кг/м³, $R \geq 1,2$ МПа.

Плиты выпускают длиной 1200...3600 мм и шириной 1000...1800 мм. Толщина твердых плит 3...8 мм, а изоляционных 8...25 мм. Изоляционные плиты применяют в виде тепло- и звукоизоляционного материала, а изоляционно-отделочные —

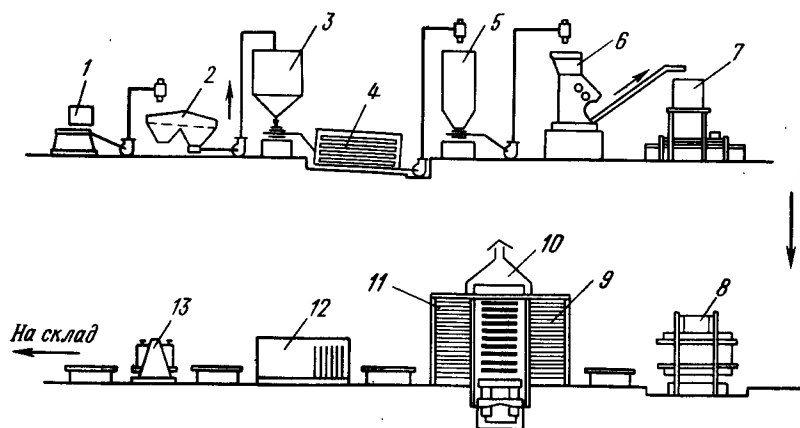


Рис. 15.5. Технологическая схема производства однослойных древесностружечных плит:

1 — рубильная машина; 2 — вибрационное сито; 3, 5 — бункера; 4 — сушилка; 6 — смеситель; 7 — настольная машина; 8 — холодный пресс; 9 — загрузочная машина; 10 — пресс горячего прессования; 11 — разгрузочная машина; 12 — камера для выдержки плит; 13 — станок для обрезки плит

для облицовки стен в медицинских учреждениях и магазинах, полутвердые и твердые для облицовки стен и перегородок, а сверхтвердые — большей частью для полов.

Технологическая схема производства твердых древесноволокнистых плит (рис. 15.6) состоит из следующих основных операций. Древесину предварительно режут длиной до 1...1,5 м и направляют в рубильную машину для измельчения в щепу, затем очищают щепу сепаратором от случайных металлических включений и направляют в бункер запаса, а из него в питающий дефибратор для пропаривания и измельчения щепы в волокна. Полученную волокнистую массу разбавляют водой и перекачивают в бассейн для смешивания с раствором фенолоформальдегидного полимера, гидрофобными добавками, антисептиками и антипиренами. Полимера вводят 4...5% от сухой массы. Волокнистую массу из бассейна насосом подают на длинносетчатую отливочную машину для отжима излишней воды и формования массы в непрерывную ленту. Далее через рольганг ленту подают на обрезной станок, где разрезают на плиты, которые направляют в камеру акклиматизации. Плиты выдерживают 4...7 ч при температуре 110...120°C, а затем увлажняют

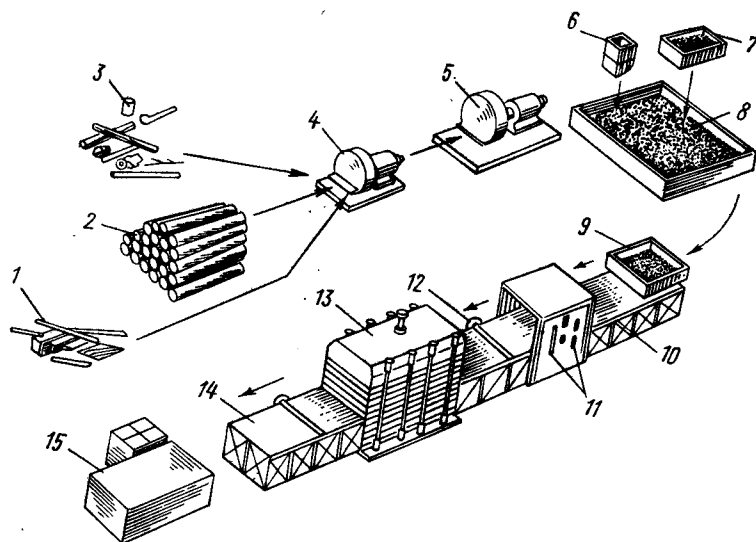


Рис. 15.6. Технологическая схема производства древесноволокнистых плит: 1 — отходы деревообработки; 2 — дровяное долготье; 3 — отходы лесоразработки; 4 — рубильная машина; 5 — дефибратор; 6 — краситель; 7 — эмульсия; 8 — бассейн для древесного волокна; 9 — отливочная машина; 10 — рольганг; 11 — отжимные вальцы; 12 — разрезка отлитой массы; 13 — пресс; 14 — раскрой плит; 15 — готовые плиты

до 7...8%. Обрезкой кромок заканчивается процесс изготовления неофактуренных плит. Для получения твердых плит производят прессование массы на многоэтажных гидравлических прессах при температуре 150...165°C под давлением 1...5 МПа. Горячее прессование ускоряет отверждение терморезактивного полимерного связующего. Меняя давление прессования, получают плиты разной плотности и с различными физико-механическими свойствами.

Твердые плиты применяют для устройства перегородок, подшивки потолков, настилки полов, для изготовления дверных полотен и встроенной мебели. Отделочные плиты облицовывают синтетической пленкой с прокладкой текстурной бумаги под цвет и текстуру древесины ценных пород, а также окрашенными водоэмульсионными поливинилацетатными красками, их применяют для облицовки стен и потолков. Плиты, окрашенные эмалями, более водостойки. Их используют для облицовки стен в медицинских учреждениях, продуктовых магазинах и т. п. Изоляционные древесноволокнистые плиты находят широкое применение в виде тепло- и звукоизоляционного материала.

Облицовочные полимерные плитки по своим декоративным качествам — разнообразию расцветок и рисунков — превосходят все другие облицовочные материалы. Их изготавливают двух видов: полистирольные и поливинилхлоридные. Состав, технология производства, свойства и область применения поливинилхлоридных плиток, применяемых для облицовки стен, не отличаются от таких же плиток для полов, за исключением толщины. Далее даны сведения только о полистирольных облицовочных плитках.

Полистирольные плитки изготавливают из блочного или эмульсионного гранулированного полистирола. Для повышения теплоустойчивости и снижения стоимости плиток можно вводить порошкообразные наполнители (талек, каолин и др.). Полистирольные плитки изготавливают на специальных литьевых машинах методом литья под давлением. Процесс производства плиток полностью автоматизирован. Плитки выпускают с гладкой глянцевой или полуматовой поверхностью различного цвета, по форме квадратные размером 100×100×1,25 и 150×150×1,35 мм; прямоугольные — 100×50×1,25; 100×20×1,25; 150×75×1,35 и 150×20×1,35 мм и сдвоенные с ложным швом — 200×100×1,35 мм. Полистирольные плитки стойки к воздействию 10%-ных растворов кислот и щелочей, обладают высокой паро- и водостойкостью, хорошими прочностными и диэлектрическими показателями. Ввиду горючести их нельзя применять для обшивки сгораемых конструкций и нагреваемых поверхностей.

Полистирольные плитки используют для внутренней отделки жилых, общественных и промышленных зданий с повышенными гигиеническими требованиями и температурно-влажностным режимом (ванные комнаты, санузлы, больницы, столовые, магазины).

§ 15.6. Полимербетоны и полимерцементные бетоны

● Полимербетоны изготовляют на основе полиэфирных, эпоксидных, фенолоформальдегидных, фурановых и других полимеров. Заполнители используют в зависимости от вида агрессивной среды. Для кислых сред применяют кислотостойкие заполнители — кварцевый песок и щебень из кварцита, базальта или гранита, а также кислотоупорный кирпич, как и графит.

По плотности различают: 1) конструкционный тяжелый полимербетон на тяжелых плотных заполнителях; 2) конструкционно-теплоизоляционный легкий бетон на минеральных пористых заполнителях (например, керамзите) и 3) теплоизоляционный особолегкий бетон на высокопористых заполнителях (пенопласте, пробке, древесине, вспученном перлите и т. п.).

Механические свойства полимербетона повышаются при армировании его стальной или стеклопластиковой арматурой. Из стали- и стеклополимербетона изготовляют элементы шахтной крепи, опоры контактной сети, шпалы, коллекторные кольца. Разработаны и находят применение в практике комбинированные несущие конструкции, в сжатой зоне которых располагают цементный железобетон, а в растянутой — армополимербетон. Такое сочетание существенно повышает трещиностойкость растянутой зоны, поскольку предельная растяжимость полимербетона примерно в 10 раз, а прочность при растяжении в 5 раз выше, чем у цементного бетона.

Для сталеполимербетона применяют связующие вещества на основе фурфуролацетонного мономера, эпоксидного полимера и др. Фурфурол — желтоватая маслянистая жидкость с характерным запахом, темнеющая на воздухе. Химический состав фурфурола представляет простейший альдегид фуранового ряда $C_5H_4O_2$. Его получают путем гидролиза (при 150...180°C) разбавленными кислотами природного сырья: отходов сельского хозяйства (лузги семян подсолнуха, соломы, кукурузных кочерыжек и т. п.) или древесины. Полимербетон, изготовляемый на основе фурфуролацетонного мономера (ФАМ) и кислого отвердителя — бензосульфокислоты (БСК), обладает высокой химической стойкостью.

Для увеличения прочности полимербетона вводят волокнистые наполнители — асбест, стекловолокно и др. Полимербетоны отличаются от цементного бетона высокой химической стойкостью и прочностью, в особенности при растяжении — 7...20 МПа и изгибе — 16...40 МПа, а прочность при сжатии достигает 60...120 МПа.

Отрицательным свойством полимербетонов является их большая ползучесть, а также старение, усиливающееся при действии попеременного нагревания и увлажнения. Кроме того, необходимо соблюдение специальных правил охраны труда при работе с полимерами и кислыми отвердителями, могущими вызвать ожоги.

необходима хорошая вентиляция, а также обеспечение рабочих защитными очками, спецодеждой.

● Полимерцементные бетоны и растворы содержат от 0,2 до 5...12% добавки синтетической смолы или каучука, их вводят в виде эмульсий или суспензий, что обеспечивает более равномерное распределение полимера в объеме материала. Обычно применяют водные дисперсии поливинилацетата, полистирола, поливинилхлорида, латексы, а также кремнийорганические соединения. В результате уменьшаются водопоглощение и водопроницаемость, увеличивается в 2...3 раза прочность бетона при растяжении и изгибе.

Полимерцементные материалы применяют в виде красок, клеев, обмазок (например, для защиты арматуры); полимерцементные растворы и бетоны используют для устройства полов, а также в виде защитных слоев резервуаров, труб и других сооружений.

§ 15.7. Конструкционные материалы

Характерными отличиями полимерных строительных материалов от обычно применяемых в строительстве являются их малая плотность, высокая прочность, хорошие тепло-, звуко- и гидроизоляционные свойства, а также стойкость против химических веществ.

В качестве конструкционных полимерных материалов используют главным образом армированные пластмассы.

Для строительных конструкций применяют следующие виды материалов и изделий, изготовленных на основе полимеров: стеклопластики, органическое стекло, винипласт листовой, сотопласты и жесткие пенопласты.

● **Стеклопластики** — это пластмассы, состоящие из полимера и наполнителя или армирующего материала в виде стеклянного волокна. В зависимости от вида стекловолоконного наполнителя стеклопластики для строительных конструкций делят на три группы: I группа — стекловолокно непрерывное прямолинейное, расположенное слоями по толщине материала, связующее — модифицированные фенолоформальдегидные, эпоксидно-феноловые и другие полимеры; II группа — стекловолокно рубленое в виде матов или нанесенное напылением, связующее — полиэфирные и другие полимеры; III группа — стекловолокно в виде холстов, связующее фенолоформальдегидные полимеры.

В строительных конструкциях применяют также стеклотекстолиты, в которых в качестве армирующего наполнителя используют ткань из бесщелочного стеклянного волокна, а в качестве связующего — модифицированные фенолоформальдегидные или полиэфирные полимеры.

Стекловолоконные анизотропные материалы (СВАМ) представляют собой один из видов стеклопластиков, которые получают путем укладки вытянутых стеклянных волокон параллель-

но друг другу с одновременным нанесением на них связующего. Процесс получения готового к формованию материала при способе укладки вытянутых стеклянных волокон сводится к получению стеклошпона. Процесс изготовления стеклошпона идет по следующей схеме. Расплавленное стекло в виде элементарных волокон вытекает из фильера, смачивается жидким связующим из пульверизатора и наматывается параллельными витками на барабан. По окончании процесса намотки полученный лист стеклошпона разрезают вдоль образующей барабана, снимают с него и просушивают. Можно получать и перекрестный стеклошпон, наматывая один или несколько слоев параллельных волокон перпендикулярно предыдущему слою. Листы стеклошпона дополнительно смачивают связующим, просушивают, а затем складывают в пакеты, после чего подвергают горячему прессованию на многостажных прессах.

Листы СВАМ обычно имеют длину до 1 м, ширину до 500 мм и толщину 1...30 мм. Механические свойства СВАМ зависят от вида связующего, толщины стекловолокна, соотношения полимера и наполнителя, расположения волокон стеклошпона и способа укладки стеклошпона в пакеты. Физико-механические свойства СВАМ, имеющего 35% связующего с перекрестным расположением волокон в шпоне, характеризуются следующими данными: плотностью — 1900...2000 кг/м³, пределом прочности при сжатии — 400 МПа, при изгибе — до 700 МПа. Изделия из СВАМа не должны иметь трещин, вздутий и посторонних включений. Стеклопластики I группы применяют для несущих элементов трехслойных плит покрытий и пространственных ограждающих конструкций, а также в качестве арматуры для бетонных конструкций.

Стеклопластики на основе рубленого стекловолокна получают методом напыления или прессования стекломатов. При напылении нарезанные стеклянные нити длиной 25...50 мм смешивают с полимерным связующим и с помощью пистолета-распылителя тонким слоем наносят на поверхность формы.

Изготовление стеклопластиков путем прессования стекломатов осуществляется следующим образом. Исходное сырье в виде стеклянных шариков загружают в стеклоплавильную печь; расплавляясь, оно выходит через фильтры. Тонкие нити расплава распыляются струей горячего воздуха или пара, обрызгиваются из распылителя связующим и осаждаются на движущуюся транспортную ленту. В местах контакта волокна склеиваются между собой, образуя стеклянный мат толщиной 0,5...2 мм. Стекломат разрезают на полотнища, смачивают полимером и складывают в пакеты, которые подвергают прессованию.

Стеклопластики на основе рубленого стекловолокна производят и непрерывным методом. В этом случае технология изготовления состоит из следующих операций: рубки стекловолокна, распределения стекловолокна на ленте конвейера, пропитки полимером, теплообработки и разрезки на листы определенного

размера. Стеклопластики на основе рубленого стекловолокна изготавливают в виде плоских и волнистых листов длиной до 6 м, шириной до 1500 мм, толщиной 1...3 мм, плотностью 1400 кг/м³, пределом прочности при растяжении не менее 60 МПа, при сжатии не менее 90 МПа и светопрозрачностью до 85%.

Стеклопластики применяют для устройства светопрозрачных ограждений и перегородок, световых холодных и полутеплых проемов стен и фонарей верхнего света, а также в качестве наружных слоев панелей цехов с химической агрессией (для светопрозрачного материала).

● **Органическое стекло (полиметилметакрилат)** представляет собой высокопрозрачный, светостойкий, относительно легкий материал. С течением времени органическое стекло не мутнеет, не желтеет, не становится хрупким, хорошо противостоит атмосферным влияниям. Органическое стекло эластично и сохраняет это свойство даже при пониженных температурах, когда его прочность на изгиб и растяжение возрастает, не увеличивая хрупкости; оно превосходит по прочности на изгиб силикатное стекло в 7 раз. Органическое стекло термопластично, его свойства очень меняются с колебаниями температуры. При нагреве до 60°C оно деформируется даже при малых нагрузках, а при 120°C приобретает эластичность мягкой резины, при 160°C становится текучим, при температуре выше 300°C оно горит. Органическое стекло выпускают в виде листов длиной 100...1350 мм, шириной 100...1250 мм и толщиной 2...2,3 мм. Подделочное стекло выпускают цветным, матовым и бесцветным плотностью 1200 кг/м³. Стекло органическое применяют для устройства светопрозрачных ограждений и перегородок, световых одинарных и двойных вертикальных проемов и куполов верхнего света общественных и промышленных зданий, ограждений теплиц.

● **Сотопласты** характеризуются регулярно повторяющимися полостями, имеющими правильную геометрическую форму. Полости образуются при формовании или литье исходного пластического материала без его вспенивания. Изготавливают их горячим формованием пропитанных термореактивными полимерами листов бумаги, ткани, шпона и т. д. При этом на материале в прессе выштамповываются гофры. Гофрированные листы покрывают полимером и укладывают в пакеты, а затем склеивают в блоки при нормальной или повышенной температуре и давлении 0,25...0,5 МПа. Сущность новой технологии заключается в получении сотопластов путем приготовления блока из бумаги с одновременным нанесением клея на те участки бумаги, которые склеиваются для образования сот.

Блоки изготавливают на станке, оборудованном вращающейся металлической пластиной и роликом для нанесения клея. Бумагу перематывают из рулона, проходя через систему роликов, которые наносят на полосы клей. Размер сот зависит от рас-

стояния между соседними роликами; после каждого оборота система роликов смещается на полшага сот. В местах, где нанесены полосы клея, бумага склеивается и получается блок. Снятый с пластины блок разрезают на полосы, растягивают и пропитывают полимером. После пропитки и сушки бумажные сотоблоки становятся полупрозрачными и жесткими с плотностью 15...60 кг/м³.

Сотопласты изготовляют тканевые, kraft-бумажные и из изоляционно-пропиточной бумаги длиной 1...1,5 м, шириной 550...650 мм и толщиной 300...350 мм, плотностью 30...140 кг/м³, прочностью при сжатии 0,3...4 МПа.

Сотопласты применяют в основном как наполнитель трехслойных панелей. Теплоизоляционные свойства сотопластов повышаются в результате заполнения сот крошкой теплоизоляционного материала, например мипоры.

● **Жестким пенопластом считают материал с системой изолированных, не сообщающихся между собой ячеек, заполненных газом или смесью газов.** В СССР находят применение пенопласты, получаемые на основе термопластичных и термореактивных полимеров, жесткой и эластичной, пенистой и пористой структуры. Отечественная промышленность производит различные виды жестких пенопластов: пенополистирольные, поливинилхлоридные и пенополиуретановые.

Пенополистирол как тепло- и звукоизоляционный материал применяют для устройства трехслойных панелей для стен и плит покрытий жилых, общественных и промышленных зданий. Трехслойные панели изготовляют клееными, в качестве наружных слоев используют стеклопластики, асбестоцемент, алюминий и другие материалы, а для приклеивания — фенолоформальдегидные, карбамидные, эпоксидные и другие клеи. Пенополистирол можно получить несколькими способами: прессовым, беспрессовым (из гранул), автоклавным и т. д. В СССР нашли распространение первые два способа.

Прессовым методом пенополистирол марки ПС-1 изготовляют на основе эмульсионного полистирола марок Б или В; в качестве порообразователя применяют порофор ЧХЗ-57, причем на 100 ч. полистирола берут 2...5 ч. (по массе) порофора. Производство пенопласта прессовым методом начинают, смешивая полимер с газообразователем в шаровой мельнице, снабженной рубашкой охлаждения, в течение 12...24 ч до получения однородной смеси. Приготовленную композицию прессуют на гидравлических прессах в закрытых пресс-формах при температуре 120...180°C и давлении 12...20 МПа. При этом частицы полимера сплавляются в монолитную массу, а газообразователь разлагается. Выделяющиеся газы частично растворяются в полимере, образуя насыщенный раствор, а избыток газа распределяется равномерно в нем в виде мельчайших ячеек. После выдержки заготовка охлаждается и извлекается из пресс-формы. Опрессованные заготовки вспениваются при температуре 100...105°C в среде насы-

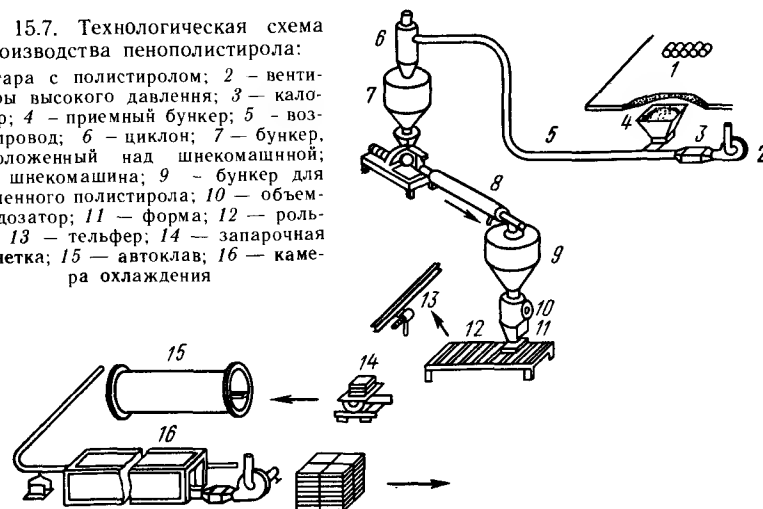
щенного водяного пара. Пенопласт выпускают в виде прямоугольных плит длиной 1,0...1,2 м, шириной 500 мм и толщиной 5,0...8,0 мм. Пенопласт можно получить с различной плотностью (60...220 кг/м³) в зависимости от количества вводимого в смесь газообразователя.

Беспрессовый метод получения пенополистирола заключается в вспенивании не отдельного блока (заготовки), а небольших гранул с последующим их спеканием (склеиванием). Технологический процесс производства пенополистирола (рис. 15.7) осуществляется в следующем порядке. Пенный полистирол, полученный полимеризацией стирола суспензионным способом в присутствии инициатора и легколетучего порообразователя (изопентана), подвергают предварительному вспениванию путем нагрева гранул до 100°C в кипящей воде, паром или смесью пара с воздухом. Следующим процессом является подсушивание вспененных гранул на открытом воздухе и выдерживание их в течение 24 ч. Окончательное вспенивание производят несколькими способами: в формах при действии пара; в автоклавах при давлении 0,12...0,15 МПа в течение 10...15 мин; в формах, которые проходят через посты загрузки, прогрева, остывания и извлечения изделий; между движущимися непрерывными лентами, образующими прямоугольный канал для вспенивания; методом совмещенного формования в массивной форме, в которую подают острый пар, и т. д. Пенополистирол изготовляют в виде прямоугольных плит размером 1000×700×100 мм, плотностью 30...200 кг/м³, теплопроводностью 0,031...0,054 Вт/(м·°C), водопоглощением не более 3% по объему, пределом прочности при 10%-ном линейном сжатии 0,13...0,7 МПа.

● **Жесткий пенополивинилхлорид используют главным образом в качестве тепло- и звукоизоляционного материала для среднего**

Рис. 15.7. Технологическая схема производства пенополистирола:

1 — тара с полистиролом; 2 — вентиляторы высокого давления; 3 — калорифер; 4 — приемный бункер; 5 — воздухопровод; 6 — циклон; 7 — бункер, расположенный над шнекомашинной; 8 — шнекомашинная; 9 — бункер для вспученного полистирола; 10 — объемный дозатор; 11 — форма; 12 — рольганг; 13 — тельфер; 14 — запорочная вагонетка; 15 — автоклав; 16 — камера охлаждения



слоя трехслойных панелей стен и плит покрытий жилых, общественных и промышленных зданий. Жесткий пенопласт ПХВ-1 изготавливают прессовым методом на основе поливинилхлоридного полимера марки М, смеси газообразователей порофора ЧХЗ-57, углекислого аммония и бикарбоната натрия. Состав пенопласта ПХВ-1 следующий (ч. по массе): поливинилхлорид — 100, метилметакрилат — 25, порофор ЧХЗ-57 — 0,3...0,8, углекислый аммоний — 10...16 и бикарбонат натрия — 8. Метилметакрилат вводят в первой стадии прессования для повышения текучести. К концу прессования он в основной массе полимеризуется и его пластифицирующее действие прекращается. В процессе вспенивания заготовки низкомолекулярный полиметакрилат и небольшое количество мономера способствует получению пенопласта с малой плотностью.

Технология получения пенопласта ПХВ-1 аналогична технологии получения пенополистирола, изготовленного прессовым методом. Технологические параметры следующие: смешивание — 18...20 ч; прессование при температуре 160...170°C и удельном давлении 15...18 МПа. При получении пенопласта плотностью менее 70 кг/м³ применяют вспенивание, которое производят в паровой камере в формах, имеющих конфигурацию и размеры изделия. Для охлаждения используют воду. Пенополивинилхлорид выпускают в виде прямоугольных плит длиной и шириной не менее 500 мм и толщиной 45...70 мм, плотностью 60...200 кг/м³, пределом прочности при сжатии 0,2...1,0 МПа и очень малым водопоглощением, температуропроводностью 0,035...0,052 Вт/(м·°C).

● **Пенополиуретан получают в результате сложных реакций, протекающих при смешивании исходных материалов (полиэфира, диизоцианата и воды) в присутствии катализаторов и эмульгаторов.** Жесткие пенополиуретаны изготавливают по непрерывному или периодическому беспрессовому методу.

Технологический процесс производства пенополиуретана периодическим методом состоит в следующем. Приготавливают две смеси при температуре 50...80°C: одну — из изоцианата и замещенного изоцианата; другую — из полиэфира, эмульгатора, катализатора и воды. Смеси затем выдерживают при температуре 28...35°C. К полиэфирам с добавками приливают изоцианаты и смесь перемешивают в смесителе в течение 0,5...2,5 мин. В результате реакции увеличивают температуру смеси на 7...10°C и объем смеси начинает возрастать. Приготовленную смесь заливают в формы, где она окончательно вспенивается. Далее смесь прогревают от 80...150°C в течение 4...6 ч, и полимер полностью отверждается.

Пенополиуретан выпускают в виде прямоугольных плит длиной и шириной не менее 450...550 мм и толщиной до 69 мм, плотностью 30...200 кг/м³, прочностью при сжатии до 3,5 МПа, теплопроводностью 0,032...0,058 Вт/(м·°C).

● **Пенополиуретан применяют для среднего слоя трехслойных ограждающих конструкций (панелей стен и плит покрытий),**

в виде скорлуп для изоляции трубопроводов, холодного и горячего водоснабжения. Предельная температура применения 150...160°C.

§ 15.8. Погонажные изделия на основе полимеров

● Погонажные изделия (плинтусы, поручни, накладки на проступи, раскладки, наличники, нащельники, штанги и конструктивные погонажные материалы — уголки, тавры, трубы) представляют собой длинномерные элементы разнообразных профилей, цвета и назначения, выпускающиеся в полной заводской готовности и не требующие никакой дополнительной отделки или покраски. Изделие в разрезе (рис. 15.8) должно иметь однородное строение и цвет. Погонажные изделия изготавливают на основе поливинилхлорида, пластификатора, наполнителя и красителя методом экструзии, т. е. непрерывного выдавливания пластической массы из экструдера.

Поставляют плинтусы длиной 1,2 и 2,4 м; поручни — 12 м; накладки на проступи в бухтах — 12 м, а полосовые, уголковые и покрывающие одновременно проступь и угол в виде прямоугольных изделий длиной 1,0...1,7 м; раскладки — 1,2 и 3 м.

Физико-механические свойства строительных погонажных изделий характеризуются следующими показателями: водопоглощением — до 0,5%, твердостью по шариковому твердомеру ПШР-2 — не более 0,3...0,5 мм; упругостью — не менее 60%; усадкой по длине — не более 0,5%. Кроме того, защитные накладки на проступи должны хорошо сопротивляться истираемости — при испытании на приборе МИ-2 истираемость не должна быть более 0,03 г/см². Ко всем этим изделиям предъявляют об-

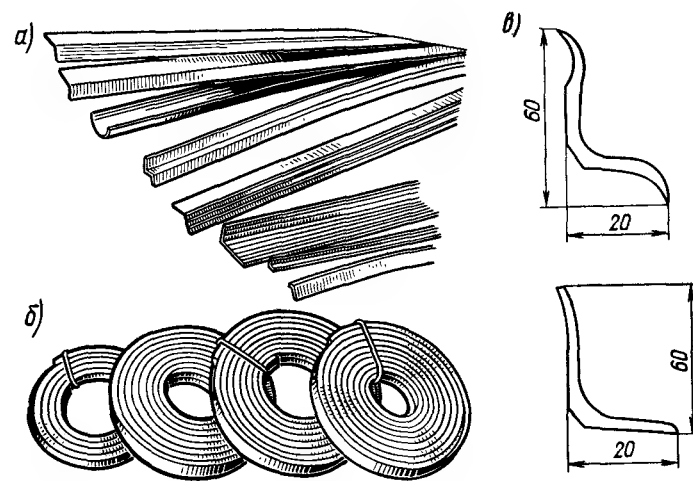


Рис. 15.8. Виды погонажных изделий:
а — защитные уголки; б — поручни; в — плинтусы

щие требования: поверхность должна быть равномерно глянцевая или матовая без царапин, раковин, трещин и расслоений; они не должны изменять цвет под влиянием воздуха, света и воды, иметь однородное строение и единый профиль и цвет.

Погонажные изделия крепят мастиками, клеями или шурупами. Поручни в разогретом виде надевают на металлические полосы ограждения лестничного марша.

§ 15.9. Трубы и санитарно-технические изделия

● **Трубы из пластмасс** в последние годы начали широко применяться на монтаже различных трубопроводов в промышленности, а также при сооружении водопроводов, канализации, нефтепроводов, ирригационных систем и т. д. Наибольшее распространение получают у нас полиэтиленовые, поливинилхлоридные, стеклопластиковые трубы и трубы из органического стекла; меньшее — трубы из полипропилена и фенолита. Полипропиленовые трубы хорошо работают при температурах до 100°C , а фенолитовые, устойчивые в эксплуатации, — в условиях химической агрессии. Пластмассовые трубы более долговечны, чем металлические, не подвержены электрохимической коррозии, имеют меньшую массу и теплопроводность, высокую водо- и химическую стойкость. Стоимость устройства трубопровода из пластмассовых труб и его эксплуатация дешевле металлических.

Отрицательным свойством пластмассовых труб является их малая теплостойкость; например, поливинилхлоридные трубы непригодны для транспортирования жидкости с температурой выше 60°C .

Полиэтиленовые трубы изготовляют из полиэтилена высокого давления методом экструзии. Полиэтилен обладает высокими диэлектрическими свойствами, устойчивостью против действия воды, растворов солей, кислот и щелочей, различных масел, значительным водопоглощением (до 0,1% после 24 ч выдержки); слабо воспламеняется и медленно горит. Полиэтиленовые трубы морозостойки, что позволяет эксплуатировать их в интервале температур от $+60$ до -80°C ; пластичны, поэтому их можно наматывать на барабаны и транспортировать; легко поддаются механической обработке. Клеить их нельзя; к поверхности полиэтилена клей не пристает. Обычно их сваривают горячим воздухом. Для монтажа труб применяют фитинги из легких металлов и винипласта.

Поливинилхлоридные трубы изготовляют из стабилизированного поливинилхлорида — винипласта — и стабилизатора методом непрерывной экструзии или же путем компрессионной сварки листовой заготовки. Отечественная промышленность производит винипласт двух марок: стабилизированный меламинам (марка А) и свинцовый глет (марка Б). Для производства труб применяют винипласт, стабилизированный меламинам, который имеет состав (ч. по массе): поливинилхлорид — 100, меламинам —

2, трансформаторное масло — 2 и стеарин — 1. Винипласт представляет собой негорючую, непрозрачную массу без запаха, цвета от светло- до темно-коричневого, плотностью 1400 кг/м^3 , водопоглощением 0,4%, пределом прочности при сжатии 80 МПа , растяжении 50 МПа и изгибе 120 МПа , удлинением при разрыве 20...15%, теплостойкостью по Мартенсу 65°C . Винипласт стоек против химической агрессии, обладает высокими антикоррозионными и диэлектрическими свойствами. Не разрешается применять винипласт в среде, содержащей ароматические углеводороды и концентрированные кислоты. В винипластовых трубах можно транспортировать жидкости с температурой до 40°C под давлением, а $50...60^{\circ}\text{C}$ — самотеком. Теплопроводность винипластовых труб в 400 раз меньше стальных. Трубы из винипласта прочно склеиваются различными клеями, свариваются или соединяются с помощью фланцев и накидных гаек. Винипластовые трубы выпускают длиной 1,5...3 м. Применяют винипластовые трубы для устройства водопроводных, канализационных и вентиляционных сетей, а также для транспортирования агрессивных жидкостей и газов. Винипластовые трубы хранят в сухих закрытых помещениях при температуре $10...20^{\circ}\text{C}$.

Стеклопластиковые трубы изготовляют на основе полиэфирных полимеров, армированных стекловолокном. Этот материал обладает исключительными механическими и антикоррозионными свойствами и наибольшей прочностью по сравнению с другими пластмассовыми трубами. Он противостоит действию многих кислот, ароматических и алифатических углеводородов и т. п. Производство стеклопластиковых труб может осуществляться различными методами: намоткой на оправку, методом центробежной отливки и непрерывным протягиванием стекловолокна. Наиболее прогрессивным является метод непрерывного протягивания стекловолокна в виде жгутов, покрытых связующим, сквозь формующее устройство. Жгуты стекловолокна, сматываясь с бобин, подсушивают и направляют в ванну для покрытия связующим, а оттуда на распределительное устройство. В формующей камере происходит предварительная полимеризация полимера до желеобразного состояния, с тем чтобы при последующем движении трубы сохранилась ее форма. Далее труба поступает в камеру дополнительной полимеризации, где происходит дальнейшее ее отверждение. Готовую трубу нарезают на куски нужной длины, сортируют и отправляют на склад.

Фитингами называют различные соединительные детали, применяемые при монтаже трубопроводов. Это муфты, угольники, тройники, крестовины, заглушки, футорки, колпачки, сгоны и др. Пластмассовые фитинги и другую арматуру, необходимую для монтажа трубопроводов, изготовляют методом литья под давлением. Применять тот или иной метод соединения пластмассовых трубопроводов нужно с учетом всех свойств полимерного материала, из которого изготовлены трубы. Метод склеивания можно использовать при винипластовом трубопроводе, но нельзя реко-

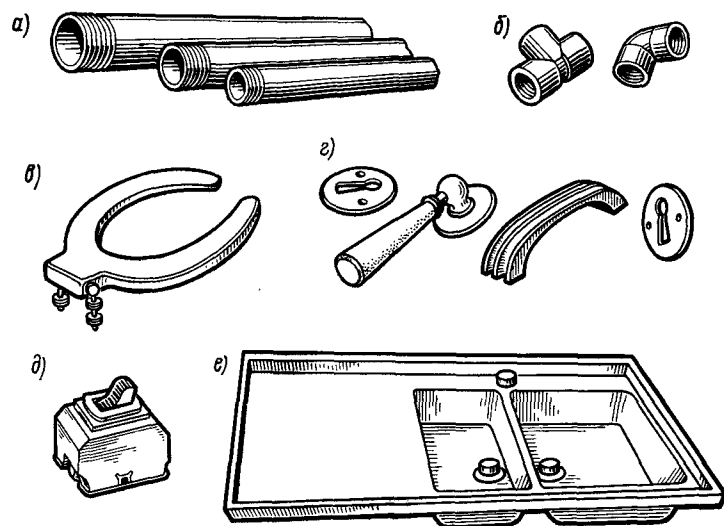


Рис. 15.9. Различные изделия из пластмасс:

а — трубы; б — санитарно-техническая арматура; в — крышка унитаза; г — дверные приборы; д — электровыключатель; е — мойка

мендовать нарезку труб, так как резьбу нужно получать при изготовлении трубы путем вдавливания — она прочнее нарезной.

Соединять пластмассовые трубы следует прутковой сваркой и компрессионной, которая является более прочной.

● **Санитарно-технические изделия (рис. 15.9) из пластмасс имеют красивый цвет, водостойки, легки, прочны и коррозиестойки, устойчивы против растворов кислот и щелочей.** К таким изделиям относятся умывальники, ванны, раковины, душевые кабины, вентиляционные решетки, мойки и т. д. Методы изготовления этих изделий различны и зависят от вида используемого полимера и размеров изделия. Крупногабаритные изделия (например, ванны) прессуют методом эластичного пуансона из термореактивных полимеров с наполнителями из слоистых и волокнистых материалов. Мелкие изделия (например, вентиляционные решетки) изготавливают из полистирола и полиметилметакрилата методом литья под давлением. Применение мочевиноформальдегидных полимеров позволяет получать изделия любых светлых тонов до белоснежного цвета.

§ 15.10. Клеи и мастики

● **Клеи и мастики на основе полимеров применяют для склеивания литых, слоистых и волокнистых материалов, а также элементов изделий и конструкций из различных строительных материалов (древесины, металлов, бетонов и др.).** Особенно велико

значение синтетических клеев в производстве клееных деревянных конструкций.

Клеи и мастики для крепления отделочных материалов и изделий представляют собой клейкие пастообразные композиции, состоящие из клеящей основы — полимеров, растворителей, пластифицирующих компонентов, наполнителей, разжижителей и в отдельных случаях отвердителей. Для крепления отделочных материалов и изделий клеи и мастики делят на две группы: первые — для приклеивания материалов покрытий полов и погонажных изделий и вторые — для крепления материалов при отделке стен, потолков и встроенной мебели. В зависимости от вида связующего различают клеи и мастики битумные, полимерные, каучуковые, нитроцеллюлозные и казеиновые. Для крепления рулонных, плиточных и листовых материалов к полам применяют битумные горячие и холодные мастики: битумно-каучуковую мастику, состоящую из битума, бензина, каолина и резинового клея; резинобитумную мастику изол, состоящую из девулканизированной старой резины, битума, кумаронового полимера, бензина, рубракса, канифоли, креозотового масла и асбеста и другие мастики. Битумные мастики, применяемые в холодном состоянии, перед употреблением в случае загустевания разбавляют бензином. Для крепления отделочных материалов для полов применяют также дифенольную мастику, состоящую из смолы, наполнителя и формалина; фенолоформальдегидную мастику — из фенолоформальдегидного полимера, керосинового контакта и мела; коллоксилиновую (нитроцеллюлозную) мастику — из обрезков коллоксилинового линолеума и ацетона; казеиноцементную мастику — из казеинового клея ОБ, портландцемента и воды.

Для приклеивания поливинилхлоридного линолеума к бетонному основанию, цементной стяжке, дереву, древесностружечным и древесноволокнистым плитам используют кумаронокаучуковую мастику. Она представляет собой вязкую пастообразную массу, состоящую из полихлорпренового каучука, инден-кумароновой смолы, наполнителя и смеси растворителей. Мастика светлого тона имеет большую прочность склеивания.

Мастики для приклеивания отделочных материалов должны обладать хорошими адгезионными свойствами, быть устойчивы к действию температуры 50...60°C, быть удобонаносимыми и легко распределяться слоем толщиной 0,3...0,5 мм (для битумных до 1 мм). Мастики должны быть биостойкими, однородными, без запаха.

Для крепления рулонных листовых и плиточных материалов для потолков, стен и встроенной мебели применяют различные клеи и мастики: 1) клей К-17 (мочевиноформальдегидный), состоящий из мочевиноформальдегидного полимера древесной муки и отвердителя — щавелевой кислоты, а также клей ФР-12 (фенолорезольный), состоящий из фенолоформальдегидного резольного полимера и отвердителя — бензосульфокислоты, — для приклеивания декоративного бумажного слоистого пластика, дре-

весноволокнистых и древесностружечных плит по дереву; 2) кумароновая мастика, состоящая из кумаронового полимера, растворителя, дибутилфталата и известняковой муки, — для приклеивания древесноволокнистых, древесностружечных плит по бетону и штукатурке, а также полистирольных плиток и линкруста по бетону, штукатурке и дереву; 3) канифольная мастика, состоящая из канифоли, денатурированного спирта, олифы оксоль и известняковой муки, — для приклеивания древесностружечных, древесноволокнистых плит, бакелизированной фанеры, полистирольных плиток и линкруста по дереву, бетону и штукатурке.

Клеи и мастики приклеивают рулонные листовые и плиточные материалы без пригруза.

Клеи для строительных конструкций представляют собой композиции из каучуков, различного рода модифицирующих добавок, наполнителей, растворителей и отвердителей. Такие клеи используют для склеивания асбестоцементных и других цементно-бетонных материалов, алюминиевых сплавов, черных металлов и древесины как между собой, так и с пенопластами и сотопластами в трехслойных и других конструкциях.

В зависимости от методов применения клеи для строительных конструкций делят на три вида: клеи холодного (при температуре 16...30°C), теплого (при температуре 40...90°C) и горячего отверждения (при температуре 100...160°C). По виду связующего — фенольные, эпоксидные, каучуковые, мочевиные и полиэфирные. Могут использоваться также и модифицированные системы на основе указанных клеев.

Фенольные клеи холодного и теплого отверждения, состоящие из фенолоформальдегидного полимера, отвердителя и наполнителя, применяют для склеивания стеклопластиков, пенопластов, сотопластов и древесины между собой, а также с асбестоцементными и алюминиевыми сплавами. Фенольный клей горячего отверждения, состоящий из фенолоформальдегидного полимера и наполнителя, применяют для склеивания асбестоцемента с сотопластами, стеклопластиков и фанеры.

Эпоксидный клей холодного и теплого отверждения, состоящий из эпоксидного полимера, модификатора, отвердителя и наполнителя, используют для склеивания асбестоцементных и цементно-бетонных материалов, алюминия и других материалов, а эпоксидный клей горячего отверждения — для склеивания различных материалов, так как он обладает значительной адгезией, малой усадкой и высокой прочностью.

Мочевинные и мочевиномеламиновые клеи холодного и горячего отверждения, состоящие из одноименных связующих, отвердителей и наполнителей, используют для склеивания древесины.

Каучуковый клей, в состав которого входят каучук, модификатор и вулканизатор, применяют для склеивания алюминия с сотолами из древесноволокнистых плит пенопластами. Он обладает значительной адгезией и прочностью и очень малым водопоглощением.

В качестве грунтов при склеивании строительных конструкций используют: полиметилметакрилатный состав, состоящий из полиметилметакрилата, метилметакрилата, растворителя и отвердителя, винильно-фенольный грунт — из поливинилхлорида, фенолоформальдегидного полимера и растворителя.

Клеевые соединения строительных конструкций обеспечивают необходимую прочность при температурах от —30 до +60°C.

Герметизирующие материалы (герметики) производят в виде паст (мастик), эластичных прокладок и лент. Их применяют для заделки швов между элементами сборных конструкций (панелями, блоками стен), швов между деталями бетона, металла, керамики, стекла и т. п. Они должны обеспечить герметичность, необходимую для восприятия температурных и усадочных деформаций и не допускать проникновение влаги через швы.

Мастичные герметизирующие материалы получают на основе полиизобутилена, тиоколовых и силиконовых каучуков.

Полиизобутиленовую строительную мастику УМС-50 получают из полиизобутилена, мягчителя (нейтральное масло) и тонкодисперсного наполнителя в виде мела, известняка и др. Полиизобутиленовую мастику производят марок УМ-20, УМ-40, УМ-50 (цифры указывают нижний предел температуры применения). Строительную мастику выпускают различного цвета в зависимости от вводимого пигмента.

Герметизирующую мастику полиэфир применяют для герметизации наружных стыков панелей крупнопанельных зданий. Это двухкомпонентная самовулканизирующая мастика, состоящая из полиэфирных смол с наполнителями. Нанесение мастики осуществляется из пистолетов и пневмопистолетов.

Для уплотнения стыков конструкций крупнопанельных зданий применяют также полиизобутиленовую мастику УМС-50, представляющую густовязкую однородную нетвердеющую массу от светло-серого до коричневого цвета, с пределом прочности на разрыв 7 кПа, относительным удлинением до 10%, водопоглощением 0,8% и теплостойкостью не ниже 70°C.

Стыки крупнопанельных зданий заделывают также герметизирующими прокладками — гернитом и герметиком ЦПЛ-2. Гернит представляет собой пористый резиновый шнур с плотной наружной оболочкой диаметром 20...60 мм. Изготавливают его на основе полихлоропренового каучука с добавлением значительного количества наполнителей, мягчителей и вулканизирующих агентов. Производство герметика ЦПЛ-2 осуществляется на основе бутилкаучука. Применяют его для герметизации стыков бетонных конструкций, не подверженных деструкции под действием влаги, кислот и щелочей. По адгезионной и когезионной прочности он значительно превосходит тиоколовые и силиконовые герметики.

Тиоколовые мастики готовят непосредственно перед началом работ путем смешения тиоколовой пасты, вулканизирующей добавки, ускорителя вулканизации и разжижителя. Нане-

сенная в шов паста в результате вулканизации отвердевает и приобретает эластичность, хорошо уплотняя стыки между конструкциями.

§ 15.11. Экономика применения пластмасс в строительстве

Производство строительных материалов на основе полимеров с каждым годом неуклонно растет, и ассортимент их расширяется. Особое значение имеет непрерывный прогресс в области использования все более дешевых видов сырья, усовершенствование процессов получения и переработки пластмасс, повышение их качества, что в конечном итоге приводит к снижению стоимости строительства.

Следует подчеркнуть, что производство полимерных строительных материалов организовано в промышленных масштабах после 1958 г. в связи с решениями ЦК КПСС о развитии химической промышленности. До этого времени в относительно массовом масштабе выпускался лишь глифталевый полимер. За 1958—1980 гг. производство рулонных и плиточных материалов для покрытий полов увеличилось в 8,7 раза (с 11,5 до 100 млн. м²), был организован выпуск полистирольных плиток, клеящих мастик и др. К 1985 г. производство линолеума достигло 112 млн. м², полистирольного пенопласта более 1 млн. м³, декоративных пленок 20 млн. м².

Производство полимерных строительных материалов относится к весьма материалоемким отраслям. Если в целом по промышленности строительных материалов удельный вес сырья и материалов составляет 32,4%, то в промышленности полимерных строительных материалов — 80,4% (в том числе сырья 25,6%, основных материалов 27,6% и прочих материалов 27,3%). На долю топлива приходится еще 2,4% затрат.

Фактическая себестоимость производства в настоящее время в 1,2...1,5 раза превышает проектные данные вследствие неполного освоения мощности и недостатков производства (превышение норм расхода сырья и материалов из-за некондиционности поставок сырья, сверхнормативных потерь и др.).

Отпускные цены на полимерные строительные материалы учитывают более высокое качество отдельных видов изделий (затрат на эксплуатацию и укладку материалов и др.).

Удельные капитальные вложения на полимерные материалы колеблются, так же как и себестоимость, в широких пределах. Наименьший их уровень характерен для полимерных мастичных композиций, пленок, лакокрасочных материалов. Полимерные рулонные материалы для полов изготовляют на высокопроизводительном оборудовании методом литья, проката, прессования и экструзии и характеризуются удельными капитальными вложениями 2...4 руб./м².

Удельные капитальные вложения на организацию производ-

ства полимерных строительных материалов зависят как от мощности предприятия, так и от вида изделий и технологии производства.

Удельный вес полимерных материалов в общем балансе строительных материалов и конструкций в перспективе значительно возрастает, например по полимерным покрытиям для полов с 7...8 до 30...35%.

Технико-экономическая целесообразность использования пластмасс в строительстве несомненна и убедительно подтверждается данными табл. 15.1 на примере материалов для полов, являющихся наиболее распространенным видом строительных полимерных материалов. Полимерные материалы для покрытий полов (даже при сравнительно высоких ценах на полимерное сырье) оказываются на уровне затрат по дощатому полу и несколько выгоднее паркетных полов. В перспективе эта разница еще более возрастает, поскольку производство полимерных строительных материалов располагает большими резервами снижения себестоимости продукции.

Таблица 15.1. Экономическая эффективность материалов для покрытия полов (по перспективным данным)

Вид материала	Приведенные затраты на 1 м ² пола, руб.	Вид материала	Приведенные затраты на 1 м ² пола, руб.
Полимерные покрытия: линолеум бесосновный поливинилхлоридный	7,4...7,9	Другие виды покрытий:	
линолеум поливинилхлоридный на войлочной основе	7,8	дощатый пол	7,7
		паркетный пол	10,2

Основные пути снижения себестоимости — это разработка новых конструктивных решений с использованием пластмасс; совершенствование технологии производства изделий из пластмасс; максимальное использование механизации и автоматизации; использование дешевых материалов. Важным элементом, способствующим снижению себестоимости полимерных материалов и конструкций, является создание крупных специализированных производств.

Трудоемкость работ по устройству покрытия полов с использованием поливинилхлоридного линолеума на войлочной основе, а также других рулонных и плиточных материалов дана в табл. 15.2.

Для получения теплых полов с достаточной изоляцией от шумов при устройстве покрытий из полимерных материалов в настоящее время предусматривают устройство покрытия сложной конструкции (рис. 15.10), состоящего из покрытия со стяжкой,

Таблица 15.2. Трудоемкость устройства полов (на 1 м²)

Разновидности полов	Затраты труда, чел-ч		
	на производ-ство мате-риала	на устрой-ство полов зда-ния	всего
Полы на современных рулонных и плиточных полимерных материалах	0,05	1,20	1,25
Пол с покрытием из поливинилхлоридного линолеума на войлочной основе	0,07	0,75	0,82

теплоизоляционного слоя, звукоизоляционного слоя и несущей части перекрытия. Необходимость такой конструкции объясняется тем, что применяемые для покрытия полов рулонные, листовые и плиточные материалы не являются сами по себе «теплыми» и звукоизолирующими от шума. Использование же поливинилхлоридного линолеума на войлочной основе обеспечивает звукоизоляцию междуэтажных перекрытий от ударного шума без устройства звукоизоляционных слоев и позволяет получить теплые полы непосредственно по железобетонным элементам перекрытия. Таким образом, линолеум на войлочной основе позво-

ляет значительно сократить затраты труда, снизить стоимость работ по устройству полов и повысить их индивидуальность, а также упростить конструкцию перекрытий.

Одним из путей снижения себестоимости полимерных материалов является уменьшение расхода дорогостоящих полимерных связующих материалов за счет наполнителя.

Снижение себестоимости полимерных материалов можно получить в результате замены дорогостоящих материалов изделиями с меньшими издержками производства. Например, поливинилхлоридные полимеры имеют очень узкий интервал между температурой текучести и температурой разложения, что затрудняет переработку этого полимера. Дибутилфталат обладает лучшими пластифицирующими свойствами, чем другие пластификаторы, и в настоящее время он широко используется в производстве изделий из пластмасс. Однако он очень летуч и изготовленные из него материалы становятся жесткими и быстро стареют. Это заставляет изыскивать другие, менее летучие разжижители, повышающие качество и улучшающие технико-экономические показатели материалов.

Совершенствование технологических процессов в сочетании со строительством новых, более крупных предприятий по производству материалов и изделий на основе пластмасс позволит в ближайшем будущем удовлетворить спрос на эти материалы и решить целый ряд технических проблем.

Ресурсы синтетического сырья являются дефицитными, что со всей остротой выдвигает задачу его рационального, экономически выгодного распределения как между отраслями — потребителями пластмасс (строительство, машиностроение, легкая и пищевая промышленность и др.), так и в пределах каждой отрасли по различным областям использования пластмасс и синтетических смол.

В настоящее время выявились основные направления наиболее целесообразного экономического использования полимеров в строительстве. К ним, по расчетам НИИЭС, следует отнести применение эффективных рулонных и плиточных материалов на основе поливинилхлорида для покрытий полов; синтетических лакокрасочных материалов, пленок, бумажнослоистых пластиков в отделке стен; новых видов теплозвукоизоляционных материалов на основе вспененных пластмасс для утепления зданий; долговечных латексных кровельных покрытий в крупнопанельном строительстве; долговечных мастичных и профильных материалов на основе синтетических каучуков для герметизации стыков крупнопанельных зданий; встроенной мебели и шкафов-перегородок из древесностружечных плит, а также высококачественных дверных блоков из древесностружечных и древесноволокнистых плит; некоторых видов полимерных санитарно-технических изделий.

В перспективе доля пластмасс, используемых для строительных целей, увеличится в общем их выпуске с 11 до 25...30%, что обеспечит существенный экономический эффект.

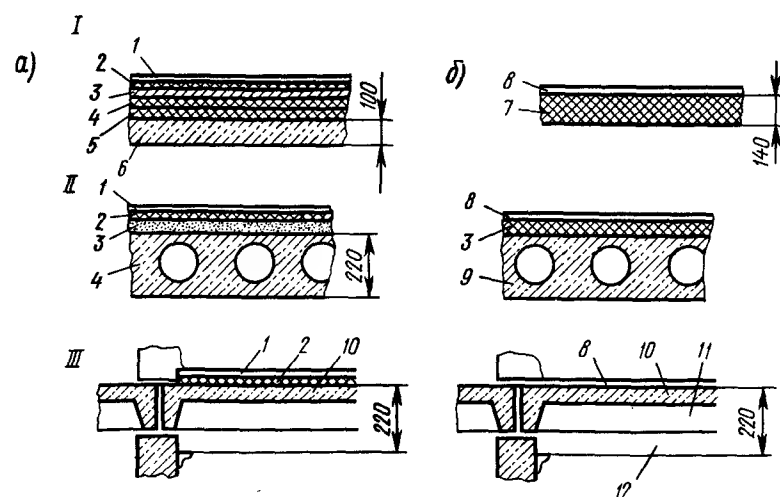


Рис. 15.10. Конструкции перекрытий жилых домов:

а — пол из обычного линолеума; б — пол из поливинилхлоридного линолеума на войлочной основе; I — для домов серии I-335 и I-464; II — для домов серии II-32; 1 — линолеум обычный; 2 — древесноволокнистая плита толщиной 5 мм; 3 — стяжка толщиной 30 мм из цементно-песчаного раствора; 4 — древесноволокнистая плита толщиной 10 мм; 5 — древесноволокнистая плита толщиной 25 мм; 6 — сплошная железобетонная панель толщиной 100 мм; 7 — сплошная железобетонная плита толщиной 140 мм; 8 — поливинилхлоридный линолеум на войлочной основе; 9 — многослойная железобетонная панель толщиной 220 мм; 10 — прокатная панель пола СВ-32-1; 11 — воздушная прослойка 25 мм; 12 — панель потолка толщиной 65 мм

ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ОБОИ

● **Лакокрасочными материалами называют природные, искусственные или синтетические составы, наносимые в жидком виде тонким слоем (от 60...600 мкм) на окрашиваемую или лакируемую поверхность.** Образующиеся плотные твердые пленки, прочно соединенные с поверхностью, должны обладать достаточной прочностью, высокой долговечностью как в отношении длительного сохранения физико-механических свойств, так и декоративных качеств. Лакокрасочные материалы должны быть безвредными для окрашиваемого изделия и живых организмов.

На протяжении долгих лет важнейшими исходными материалами для красочных составов служили натуральные олифы, при изготовлении которых использовались растительные масла, являющиеся пищевым сырьем. Для получения же лаков применялись преимущественно природные смолы, из которых многие ввозились из Конго, Мадагаскара, Занзибара и др. Постепенно эти природные продукты стали заменять синтетическими полимерными и при этом в ряде случаев повышалось качество лакокрасочных материалов.

Лакокрасочные материалы можно разделить на краски, лаки и вспомогательные материалы. Краски предназначены для создания непрозрачного цветного декоративного и защитного покрытия, а лаки — для прозрачного покрытия и окончательной декоративной отделки окрашиваемой поверхности; они не изменяют также текстуры окрашиваемого материала. Вспомогательные материалы (шпатлевки, грунтовки, замазки) применяют для подготовки поверхности под окраску и для доведения лаков и красок до рабочей консистенции. К ним относятся эмульсионные разбавители, олифы и растворители, а также сиккативы и смывающие материалы.

Компоненты лакокрасочных составов делят на пигменты, наполнители и связующие вещества.

§ 16.1. Пигменты и наполнители

Пигменты и наполнители предназначены для придания малярным составам цвета, непрозрачности, улучшения механических свойств и долговечности в эксплуатации.

● **Пигментами называют цветные тонкоизмельченные минеральные или органические вещества, нерастворимые или малорастворимые в воде и органических растворителях; в качестве пигментов применяют также металлические порошки (пудры).** Пигменты бывают природные и искусственные, минеральные и органические.

Каждый пигмент имеет свой цвет и обладает определенными свойствами. К числу общих свойств пигментов относят ук-

рывать способность, тонкость помола, светостойкость, огнестойкость, стойкость против химических воздействий, атмосферостойкость. *Укрывистость* пигмента характеризуют расходом его на 1 м² окрашиваемой поверхности. *Красящая способность* — это свойство пигмента передавать свой цвет в смеси его с белыми, черными и синими пигментами. *Тонкость помола* пигмента оказывает сильное влияние как на укрывистость, так и на красящую способность. С увеличением тонкости помола возрастают укрывистость и красящая способность. *Светостойкость* — способность пигмента сохранять свой цвет под действием света. Это свойство очень важно для наружных покрасок зданий и сооружений. *Стойкость против химических воздействий* — способность некоторых пигментов сохранять свой цвет под действием щелочей и других реагентов. *Атмосферостойкость* — способность пигментов сопротивляться совместному действию температуры, влаги, углекислоты и других агентов внешней среды. Сурик железный обладает хорошей атмосферостойкостью. *Огнестойкость* пигментов — способность выдерживать действия высоких температур без разрушения и изменения цвета. Органические пигменты лишены огнестойкости; минеральные пигменты по-разному реагируют на изменение температуры. *Антикоррозионная способность* — способность в сочетании со связующими защитить металлы от коррозии. Например, железный сурик и свинцовые белила обладают антикоррозионными свойствами, а сажа, наоборот, способствует развитию коррозии.

Пигменты минеральные природные получают путем обогащения и измельчения на специальных установках природных материалов (руды, глины). Их используют для приготовления известковых и клеевых красок, шпаклевок и цветных строительных растворов. К этой группе пигментов относят: мел природный молотый белого цвета; охру сухую желтого цвета (глина с содержанием более 15% оксида железа); сурик железный (Fe₂O₃, FeO) коричнево-красного цвета, обладающий высокой свето- и антикоррозионной стойкостью; мумию естественную сухую (бокситную, светлую и темную), имеющую светло-коричнево-красный цвет; графит серый; глауконит зеленый и пероксид марганца черного цвета.

Пигменты искусственные минеральные получают путем химической переработки минерального сырья. Такими пигментами являются: 1) диоксид титана TiO₂ белого цвета, получаемый из титановых руд; 2) белила цинковые, получаемые возгонкой металлического цинка с последующим окислением паров цинка; они обладают хорошей укрывистостью, светостойкостью, не ядовиты; 3) литопон белого цвета, представляющий собой смесь сернистого цинка и серноокислого бария; он недостаточно устойчив против действия атмосферы, применяют преимущественно для внутренних работ; 4) крон цинковый малярный сухой светло-желтого (лимонного) цвета, представляющий собой двойное соединение оксида хромитов цинка с хромовокислым калием или натрием; содер-

жит небольшое количество основных серноокислых или хлористых солей цинка; применяют в масляных, клеевых и грунтовых красках по металлу; 5) сурик свинцовый красного цвета получают прокаливанием свинцового глета при температуре 450°C; обладает стойкостью к действию щелочей, но растворяется в кислотах, хорошо защищает сталь от коррозии; применяют в масляных красках, антикоррозионных грунтовках по металлу и дереву; 6) ультрамарин синего цвета, обладающий средней свето- и щелочестойкостью; применяют в масляных красочных составах, в цветных растворах и известковых красках; 7) оксид хрома Cr_2O_3 зеленого цвета обладает стойкостью к действию кислот, щелочей, света и высоких температур; получают нагреванием измельченной смеси $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ с каким-либо восстановителем (порошком древесного угля, серы); применяют во многих красках; 8) сажа газовая — продукт сжигания газов (ацетилен), является наиболее легким пигментом, имеет высокую кроющую и красящую способность, устойчива к действию кислот и щелочей.

Металлические порошки применяют наряду с минеральными искусственными пигментами: это алюминиевая пудра — тонкий порошок металлического алюминия — для наружной окраски металлических конструкций и для декоративной окраски; пудра золотистая — бронзовый порошок — для декоративной окраски по металлу.

Органические пигменты представляют собой синтетические красящие вещества органического происхождения, они обладают высокой красящей способностью и чистотой цвета. Органические пигменты нерастворимы или малорастворимы в воде и других растворителях. К числу органических пигментов, применяемых в красках, можно отнести следующие: пигмент желтый, светопрочный лимонного цвета; оранжевый прочный, красный, алый, лак рубиновый, пигмент голубой фталоцианиновый, светло-синего цвета; пигмент зеленый фталоцианиновый и др. Органические пигменты используют для придания тона красочным композициям на различных связках. Однако щелочестойкость их сравнительно низкая, несколько ниже оказывается и светостойкость.

● **Наполнителями называют нерастворимые минеральные вещества, в большинстве случаев имеющие белый цвет и добавляемые в лакокрасочные материалы для экономии пигментов и для придания этим материалам особых свойств, например повышенной прочности, кислотостойкости, огнестойкости и т. д.** В качестве наполнителей для приготовления растворов и выравнивающих составов используют каолин, молотый тальк, песок, пылевидный кварц, андезит, диабаз, асбестовую пыль, волокно и другие материалы.

§ 16.2. Связующие вещества

● **Связующие вещества предназначены для создания основы и пленкообразования лакокрасочных покрытий.** В качестве связующих веществ в красочных составах используют: полимеры —

в полимерных красках, лаках, эмалях; каучуки — в каучуковых красках; производные целлюлозы — в нитролаках; олифы — в масляных красках; клеи животный и казеиновый — в клеевых красках; неорганические вяжущие вещества — в цементных, известковых и силикатных красках. Связующее вещество является основным компонентом красочного состава, оно определяет консистенцию краски, прочность, твердость, атмосферостойкость и долговечность покрытия. Связующее выбирают с учетом адгезионных свойств с основанием после отверждения. Защитные свойства и долговечность лакокрасочного покрытия к бетону, металлу или другому материалу зависят не только от вида связующего, но и от пигмента, например алюминиевый пигмент замедляет коррозию стали, тогда как сажа его ускоряет.

● **Полимерные связующие применяют в красочных составах и лаках как самостоятельное связующее вместе с растворителем, так и в композициях, например в сочетании с цементом в полимерцементных красочных составах.** Использование синтетических полимеров не только значительно сократило расход растительных масел на производство красочных составов, но и расширило ассортимент производства новых видов долговечных и экономичных красочных составов. Применение полимерных лаков и эмалей позволило почти полностью отказаться от ввозимых дорогих природных смол (шеллака, копала, даммара). В качестве полимерных связующих широко используют синтетические смолы и каучуки и производные целлюлозы, растворимые до требуемой консистенции в органических растворителях. Образование лакокрасочной пленки в этом случае происходит вследствие испарения растворителя.

● **Олифами называют связующие, получаемые из высыхающих масел или некоторых искусственных продуктов, которые после отверждения в тонких слоях образуют прочные и эластичные покровные пленки.** Пленкообразующие составы, не содержащие высыхающих масел, но способные заменить их в малярных работах, называют искусственными или синтетическими олифами.

Олифы применяют для разбавления красок, изготовления грунтовок, шпатлевок, для покрытия дерева, штукатурки и других поверхностей. Олифы должны высыхать в тонких слоях, не давая отлипа за 24 ч при температуре 20°C. Для ускорения высыхания в олифы вводят сиккатив.

Олифу натуральную (масляную) изготавливают двух видов: окисленную и полимеризационную. Окисленную олифу получают путем обработки льняного или конопляного масла продуванием воздуха при нагревании до 160°C с введением марганцевого или марганцево-свинцово-кобальтового сиккатива. Полимеризованную олифу получают полимеризацией льняного масла нагреванием при температуре 275°C с введением марганцево-свинцово-кобальтового сиккатива. Так как для приготовления натуральных олиф расходуются дорогие растительные масла, применение

ее в строительстве для наружной и внутренней отделки металла, дерева и штукатурки ограничено.

Олифу полунатуральную изготавливают из полимеризованных, окисленных и других уплотненных масел, обработанных при температуре 150...300°C в присутствии сиккатива и растворенных в летучих растворителях (уайт-спирите, скипидаре, бензоле и др.). К полунатуральным олифам относят олифу оксоль и оксоль-смесь. Олифа оксоль представляет собой заменитель натуральной олифы, изготовленный уплотнением льняного масла при продувании воздуха в присутствии сиккатива с последующим добавлением растворителя (уайт-спирита или сольвент-нафты). Олифу оксоль применяют для разведения густотерных красок для внутренних и наружных работ. Олифа оксоль-смесь представляет собой заменитель натуральной олифы, изготовленный уплотнением смеси льняного или конопляного масла (или их смеси) с подсолнечным маслом путем продувания воздуха в присутствии сиккатива с последующим добавлением растворителя (уайт-спирита, сольвент-нафты). Олифу оксоль-смесь используют для разведения густотерных красок, идущих для внутренних отделочных работ.

Олифы синтетические в отличие от натуральных не содержат растительных масел или содержат их не более 35%. Из множества искусственных олиф широко применяют глифталевую, сланцевую, синтоловую, а также этиноль (лак) и кумароноинденовую олифы. Глифталевую олифу получают при взаимодействии растительных масел, глицерина и фталевого ангидрида с добавлением сиккатива с последующим разбавлением специальным бензином (растворителем для лакокрасочной промышленности) до малярной консистенции. Глифталевую олифу применяют для изготовления высококачественных красочных составов для наружной и внутренней отделки металла, дерева и штукатурки. Сланцевая олифа представляет собой раствор дизельного и генераторного сланцевого масла в органических растворителях; применяют ее для изготовления красочных составов для внутренней отделки. Этиноль — отходы производства хлорофенового каучука; применяют его для антикоррозионных грунтовок и красок. Кумароноинденовая олифа представляет собой раствор кумароноинденовой смолы в органических растворителях; используют ее только для изготовления шпатлевок и грунтовок для внутренних работ.

● **Клеи** применяют в качестве связующего вещества в водоклеевых красочных составах, для клеевых грунтовок и шпатлевок, а также в качестве стабилизатора при изготовлении красочных водных эмульсий. Различают клеи животные (мездровый, костный, казеин), растительные (декстрин) и искусственные. Клей мездровый, костный, казеин и декстрин находят ограниченное применение в строительстве, их вытесняют более эффективные искусственные клеи. Клей искусственный представляет собой раствор искусственных смол в воде, он бывает в виде смеси

карбоксилметилцеллюлозы и метилцеллюлозы. Карбоксилметилцеллюлоза является продуктом химической переработки древесной целлюлозы желтоватого цвета, мало подверженной гниению, способна набухать и растворяться в воде. Карбоксилметилцеллюлозу используют в клеевых и масляных красках. Метилцеллюлоза обладает большой стойкостью к действию кислот и щелочей, чем и отличается от карбоксилметилцеллюлозы. Клей полимерный представляет собой полимерные синтетические вещества, обладающие высокой клеящей способностью. Для его получения используют поливинилацетатную смолу. Полученное связующее применяют в виде эмульсий для приклеивания пленочных материалов и моющихся обоев, водных или спиртовых растворов поливинилацетата.

● **Разбавители предназначены для разбавления густотерных или разведения сухих минеральных красок.** В отличие от растворителей разбавители содержат пленкообразователь в количестве, необходимом для получения качественного лакокрасочного покрытия. Разбавители эмульсионные представляют собой эмульсии системы «вода в масле». Эмульсионные разбавители применяют для получения грунтовок и разбавления густотерных масляных красок. Их использование позволяет более экономично расходовать слабополимеризованные высыхающие масла и синтетические смолы. Эмульсионные разбавители применяют для разжижения цинковых и литопонных белил, некоторых цветных густотерных красок, а также сурика железного, мумии и охры. Количество разбавителя для различных красок не должно быть более 22...40%; если при этом не получилось малярной консистенции красочного состава, то в краску добавляют растворитель. Эмульсионные разбавители дают невысокое качество покрытий, поэтому их применение ограничено.

● **Растворители представляют собой жидкости, используемые для доведения малярных составов до рабочей консистенции.** В зависимости от назначения растворители делят на три вида: для масляных лаков и красок; для глифталевых, пентафталевых и битумных лаков и красок; для нитроцеллюлозных, эпоксидных и перхлорвиниловых лаков и красок. Растворителем для клеевых водоземлюсионных красок является вода. В качестве растворителей применяют скипидар, сольвент каменноугольный, уайт-спирит и другие растворители.

§ 16.3. Красочные составы

Красочные составы делят на масляные и эмалевые краски, лаки, краски водоразбавленные и летучесмоляные.

● **Масляные краски представляют собой смесь пигментов и наполнителей, перетертых в краскотерках с олифой из растительных масел.** Масляные краски выпускают в виде густотерных красок, которые перед употреблением необходимо разводить олифой до малярной консистенции, и красок, готовых к употреблению.

Густотертые красочные составы содержат олифу 12...25 %, а краски, готовые к употреблению, — 30—50 % от массы пигмента. Масляные краски применяют для наружной и внутренней окраски по металлу, дереву, штукатурке и бетону. Полное высыхание масляных красок при температуре 18...23°C должно быть не более чем за 24 ч, время высыхания черной масляной краски составляет около 30 ч. В строительстве применяют следующие основные виды масляных красок: для наружной окраски — белила цинковые, зелень свинцовую и цинковую, краску черную, земляные густотертые краски (мумия, охра), сурик железный и др.; для внутренней окраски — белила цинковые и литопонные, зелень цинковую густотертую, киноварь искусственную светло- и темно-красную, сурик железный и другие цветные масляные краски. Краски масляные на олифах из растительных масел следует применять по просохшей штукатурке и отвердевшему бетону.

● **Эмалевые краски** представляют собой суспензии минеральных или органических пигментов с синтетическими или масляными лаками. Наиболее употребительными эмалевыми красками являются алкидные, эпоксидные и мочевиноформальдегидные. Эмалевые краски имеют хорошую светоустойчивость, антикоррозионность, быстро высыхают. Эмалевые краски применяют для окраски по металлу, дереву, бетону и штукатурке внутренних и наружных поверхностей.

Алкидные краски — это суспензии тонкодисперсных пигментов в глифталевом, пентафталевом и других алкидных лаках с добавлением растворителей и сиккатива. К алкидным краскам относят глифталевые эмали общего потребления, обладающие пониженной и повышенной водостойкостью, но неустойчивые к действию щелочей, и пентафталевые эмали различных марок, обладающие большей долговечностью и водостойкостью, чем глифталевые. В группу алкидных красок входят также алкидно-стирольные эмали, обладающие повышенной химической стойкостью и водостойкостью, высокой твердостью и блеском.

Эмалевые эпоксидные краски представляют собой суспензию пигментов в растворах эпоксидной смолы. Они обладают повышенной химической стойкостью и водостойкостью, применяют их в качестве антикоррозионных покрытий по металлу и дереву. Суспензия пигмента в мочевиноформальдегидных смолах образует карбамидные эмалевые краски, обладающие повышенной водостойкостью; применяют их для покрытия встроенного оборудования.

● **Лаки** представляют собой растворы смол в летучих растворителях. Последний при лакировании поверхности изделий улетучивается, а смола в виде тонкой пленки остается, придавая поверхности блеск и твердость. Лаки делят на пять групп.

Масляно-смоляные лаки — растворы в органических натуральных растворителях — алкидных или синтетических смолах, модифицированных высыхающими маслами. Применяют их для

внутренних и наружных покрытий по дереву и масляным краскам светлых тонов, для разведения эмалей и лаков, получения стойких антикоррозионных покрытий и приготовления шпатлевок и грунтовок.

Безмасляные синтетические лаки — растворы синтетических смол в органических растворителях. Широкое применение в строительстве получили лаки на основе мочевиноформальдегидных смол, используемые для покрытия паркетных и дощатых полов, а также полов из древесностружечных плит. Перхлорвиниловые лаки инденхлорида и перхлорвинила применяют для лакировки масляных покрытий с целью улучшения их антикоррозионных свойств.

Лаки на основе битумов и асфальтов — растворы битумов, асфальтов и растительных масел в органических растворителях (бензине или бензоле). Битумные лаки черного или коричневого цвета обладают стойкостью против действия кислот и щелочей. Битумные и асфальтовые лаки применяются для антикоррозионных паро- и гидроизоляционных покрытий, отделки печей, окраски газовых плит и других поверхностей.

Спиртовые лаки и политуры — растворы природных и искусственных смол в спирте. Изготавливают их различных цветов (желтый, зеленый, голубой, коричневый и др.) и применяют для полировки деревянных поверхностей и покрытия изделий из стекла и металла.

Нитроцеллюлозные и этилцеллюлозные лаки — растворы эфирцеллюлозных смол в органических растворителях. Для повышения качества лака в последний добавляют пластификаторы — натуральные, искусственные или синтетические смолы. Нитроцеллюлозный лак бывает желтого и коричневого цвета; применяют его для лакировки изделий из дерева и мебели. Этилцеллюлозный лак бесцветен; используют его для лакировки окрашенных и неокрашенных изделий из дерева.

● **Водоразбавляемые и летучесмоляные красочные составы** бывают на минеральной основе, полимерцементные, эмульсионные (латексные) и краски и эмали летучесмоляные.

Красочные составы на минеральной основе представляют собой смесь щелоче- и светостойких пигментов и неорганического связующего вещества с различными добавками, разбавленную водой до состояния малярной консистенции. По виду связующего вещества краски на минеральной основе бывают известковые, силикатные и цементные.

Известковые краски состоят из извести, пигмента, хлористого натрия или хлористого кальция, а также стеарата кальция или кальциевых солей, кислот, льняного масла. Известковые краски применяют для окраски фасадов и внутренних помещений по кирпичным, бетонным и оштукатуренным поверхностям.

Силикатные краски изготавливают из смеси тонкоизмельченного мела, талька, цинковых белил и щелочестойчивого пигмента с последующим затворением растворов натриевого или калиевого

растворимого стекла. Силикатные краски заводского производства выпускают в двухтарной упаковке двух видов: для фасадной и внутренней отделки. Фасадные краски, состоящие из пигмента, наполнителей и калийного жидкого стекла, применяют для окраски фасадов, а также для окраски внутренних помещений с нормальной и повышенной влажностью; краски для внутренних отделок, состоящие из пигментов и наполнителей, применяют для окраски внутренних помещений по бетону, штукатурке и волокнистым плитам, не содержащим смолы. Силикатные краски значительно экономичнее и долговечнее перхлорвиниловых, известковых и казеиновых. Для защиты металла от коррозии в атмосферных условиях, влажной среде, в умеренных солевых растворах, для отделки закладных деталей в крупнопанельном домостроении применяют протекторные силикатные краски, представляющие собой суспензию цинковой пыли и пигментов в силикатно-силиконовом сополимере.

Цементные краски заводского изготовления при употреблении смешивают с водой. Применяют их для наружной и внутренней окраски помещений с повышенной влажностью, а также при окраске ячеистого бетона и рельефной отделки.

Полимерцементные краски изготавливают на основе цемента, щелоче- и светостойких пигментов с добавками синтетических смол. Полимерцементные краски производят различных цветов для летних и зимних работ. Полимерцементные краски для летних работ выпускают в двухтарной упаковке, при употреблении смешивают с водной дисперсией полимера; применяют для наружной и внутренней отделки зданий, а также для окраски панелей различной поверхности. Полимерцементные краски для зимних работ применяют для наружной отделки фасадов и строительных конструкций.

Эмульсионные (латексные) краски представляют собой пигментированные эмульсии или дисперсии полимера в воде. Из эмульсионных красок в строительстве применяют:

водоэмульсионные акриловые краски, представляющие собой суспензию пигментов и наполнителей в акриловом латексе; в качестве основного кроющего пигмента в акрилатные эмульсионные краски входит диоксид титана. Эти краски могут быть различными по цвету и тону, не токсичны, пожаро- и взрывобезопасны, отличаются высокой свето- и атмосферостойкостью, могут применяться в помещениях с высокой солнечной радиацией. Покрытие имеет приятный внешний вид, хорошо очищается, обладает длительным сроком службы; применяют для наружных и внутренних работ по окраске штукатурки, бетона, кирпича, дерева и других пористых материалов, а также по предварительно загрунтованным металлическим поверхностям;

поливинилацетатную — водную эмульсию поливинилацетата с пигментом, пластифицированную дибутилфталатом; производят заводским способом и поставляют в пастообразном состоянии, а до малярной консистенции разводят водой; применяют краску

для внутренней и наружной окраски бетона, штукатурки и дерева, а также листовых материалов — линкруста и картона; стиробутадиеновую краску, состоящую из суспензии (пигмента в латексе СКС-65) с добавкой эмульгатора и загустителя; изготавливают на заводе в виде паст и до малярной консистенции доводят водой; применяют для внутренней и наружной окраски по различным поверхностям;

эмульсионную краску СТЭМ-45; производят на заводе в виде паст и разбавляют до малярной консистенции водой; применяют ее для внутренней окраски штукатурки, бетона, дерева и кирпича по старой масляной краске;

краску эмульсионную СЭМ, представляющую собой суспензию из пигментов и эмульсии, состоящую из глифталевого лака, воды и эмульгаторов с добавлением сиккатива и растворителя; производят разного цвета и перед употреблением эмали разбавляют уайт-спиритом, скипидаром или тяжелым растворителем, получаемым при пиролизе нефти; применяют для внутренней отделки помещений, окраски металлических поверхностей, дерева и штукатурки;

водоразбавляемые глифталевые, эмульсионные краски типа ЭМА и эмульсионные акрилатные краски; производят белого, желтого, оранжевого и других цветов; перед употреблением разбавляют водой. Краски стойки в условиях повышенной влажности, применяют их для наружных и внутренних работ по кирпичу, камню, бетону и штукатурке.

Летучесмоляные краски представляют собой суспензию пигментов в лаках (летучесмоляных составах). Высыхание таких покрытий происходит в результате улетучивания растворителя. При большом количестве связующего в красках покрытия получают с блеском и имеют хороший розлив. Эти краски называют эмалями. Широкого применения в строительстве они еще не получили; наиболее распространены из них перхлорвиниловые, винилхлоридные летучесмоляные эмали и др.

Перхлорвиниловые эмали представляют собой раствор сухой перхлорвиниловой смолы в смеси с летучими органическими растворителями с добавками пигментов, пластификаторов и других смол, например алкидной. Они отличаются повышенной водо- и химической стойкостью, поэтому их применяют для защиты различных строительных конструкций и деталей от воздействия химически агрессивных сред. Производят их различных марок и цветов, доводят до малярной консистенции камнеугольным сольвентом или специальными растворителями, высыхают они при 18...23°C в течение 2...4 ч.

Винилхлоридные эмали и краски выпускают различных цветов. Они отличаются повышенной маслостойкостью, применяют их для тех же целей, что и перхлорвиниловые.

Эмали эфирцеллюлозные, используемые в строительстве, делят на нитроглифталевые, нитроцеллюлозные и этилцеллюлозные. Нитроглифталевые эмали представляют собой раствор

нитроцеллюлозы и глифталевой смолы в органических растворителях с добавкой пластификаторов и пигментов, а нитроцеллюлозные и этилцеллюлозные эмали — суспензию пигментов в нитро- или этилцеллюлозном лаке; они обладают повышенной токсичностью, огнестойкостью и водостойкостью. Применяют их для окраски металлических и деревянных конструкций внутри помещений. Этилцеллюлозные эмали менее огнеопасны нитроглифталевых и нитроцеллюлозных, готовят их на менее токсичном, растворителе. Применяют для заводской окраски кухонной мебели и встроенного оборудования.

§ 16.4. Вспомогательные материалы

В качестве вспомогательных материалов при окрасочных работах применяют шпатлевки, замазки, грунтовки, а также растворители, разбавители и сиккатиры, рассмотренные ранее.

● **Шпатлевками называют отделочные составы, применяемые для выравнивания поверхностей, подлежащих окраске.** Шпатлевки бывают различных составов в зависимости от вида применяемой краски. Под водоразбавляемые краски применяют купоросную или квасцовую, клеевую и поливинилацетатную шпатлевки.

Купоросная, или квасцовая, шпатлевка состоит из олифы оксоль, животного клея, масла, хозяйственного мыла, медного или цинкового купороса и воды. Купоросную шпатлевку применяют под клеевую или силикатную окраску, она наносится кистью или распылителем.

Клеевая шпатлевка состоит из 15%-ного водного раствора животного клея и 75 % мела; наносится она шпателем.

Шпатлевки перхлорвиниловые и полистирольные представляют собой пастообразные массы, наносимые на поверхность из дерева, бетона, штукатурки и металла, предназначенную под окраску. Перхлорвиниловые шпатлевки водостойки, быстро сохнут (не больше 2 ч); некоторые марки из них пригодны для работы при температуре ниже 0° С. Полистирольные шпатлевки применяют для тех же целей, что и перхлорвиниловые, однако они менее долговечны.

● **Замазки представляют собой пастообразные составы, применяемые для промазывания оконных переплетов при остеклении, фальцевых соединений и гребней кровли из листовой стали.** Для оконных переплетов используют меловую, белильную и нафтеновую замазки, состоящие из олифы натуральной, мела молотого и сурика. При устройстве кровли из листовой стали применяют специальную кровельную замазку, состоящую из натуральной олифы, мела и сурика железного, или замазку на кузбасском лаке, железном сурике и меле молотом. Замазки обладают хорошей водостойкостью и пластичностью. В последнее время в строительстве находят все большее применение теплопроводная кислотоустойчивая самозатвердевающая замазка «Арзамит универсальный». Ее применяют как антикоррозионный теплопро-

водный футеровочный материал в качестве связующего компонента при футеровке химического оборудования, устройстве химически стойких полов, штукатурке строительных конструкций, как металлических, так и железобетонных. Замазку выпускают в виде двух компонентов: раствора и порошка, — которые смешивают перед употреблением. Она обладает хорошей стойкостью к действию кислот, щелочей, растворам их кислот, к переменным средам, к действию органических веществ.

● **Грунтовки представляют собой красочные составы, состоящие из пигментов или красителей, наполнителей и связующих.** Производят их двух видов: грунтовки под водоразбавляемые краски и грунтовки под масляные и синтетические краски. Под водоразбавляемые краски применяют купоросную грунтовку, мыльно-клеевую, известковую с квасцами и др.; их применяют под известковую или силикатную окраску. Грунтовки под масляную окраску обычно разбавляют олифой или растворителем. В отделочных работах грунтовки используют для уменьшения пористости окрашиваемой поверхности, для сокращения расхода дорогих красочных составов и улучшения внешнего вида получаемого покрытия, для усиления защиты металлических поверхностей от коррозии, для предварительной окраски деревянных и других поверхностей, предназначенных под лакировку, а также для усиления сцепления красочного слоя с основанием.

§ 16.5. Обои бумажные

● **Обоями называют рулонный бумажный материал с отпечатанным на лицевой поверхности цветным рисунком.** Применяют для декоративной отделки стен помещений. По назначению и эксплуатационным признакам различают бумажные обои обыкновенные, моющиеся (влажные) и звукопоглощающие (ворсовые).

Рисунки и цвета обоев весьма различны: негрунтованные обои — рисунок нанесен на негрунтованную бумагу; лепковые — краски нанесены на бумагу одновременно с рисунками; грунтованные — рисунок нанесен на грунтованную и окрашенную бумагу; гобелены и ковры — рисунок нанесен на грунтованную и окрашенную бумагу и имитирует ковер или гобелен; фоновые — поверхность имеет однотонную матовую окраску, тисненые — окраска нанесена с одновременным тиснением рисунка; бесшовные — имеют любую фактуру.

В зависимости от характера обработки, рисунка, цвета, размеров обои делят на основное полотно, бордюр к нему или фриз. Путем комбинаций в подборе рисунков, цветов и видов обойных материалов могут быть получены разнообразные композиции при оклейке стен. Для особой отделки стен имеются обои лакированные, а также представляющие собой срезы шпона ценных древесных пород, наклеенных на полотно или бумагу. После оклейки стен такими обоями поверхность шпона полируют.

получая вид стены, оклеенный древесным шпоном. Разновидностью обоев является линкруст. От линолеума он отличается бумажной основой, а от обоев — наличием покровной тонкой полимерной пленки с выделенным на ней рисунком. Эти обои моются, легко окрашиваются масляной краской.

Бумажные обои выпускают длиной до 12 м, шириной 500, 600 и 700 мм, иногда длина рулона бывает 30 и 50 м. Бордюры выпускают длиной до 25 м и шириной 15...100 мм. Основа обоев должна быть прочной, иметь гладкую и однородную поверхность без пятен, грунт — ровным, покрасочный слой — прочным.

Обои обычно применяют для отделки жилых комнат и общественных помещений: моющиеся — для отделки коридоров, передних, гостиных, ресторанов и т. д.; звукопоглощающие — для отделки помещений с повышенными звукоизоляционными требованиями (машинописные бюро, радио- и телестудии и т. п.)

§ 16.6. Экономика применения лакокрасочных материалов

Отделочные работы являются завершающим этапом строительства и во многом определяют себестоимость, сроки и ритмичность сдачи в эксплуатацию зданий и сооружений.

В зависимости от объемов и организации производства отделочных работ, от степени заводской готовности отделяемых поверхностей малярно-строительные работы составляют до 25 % от стоимости надземной части зданий, 13...20 % трудоемкости всех строительно-монтажных работ.

Однако с внедрением индустриального домостроения существенно изменяются объем и характер отделочных работ, все большая часть их со строительной площадки переносится на заводы по изготовлению конструкций, изменяются фазовые отделочные работы, а на строительной площадке они сведены до минимума. Панели наружных стен поступают с завода либо офактуренные декоративным бетоном, либо облицованные керамическими плитками и только в исключительных случаях — с гладкой бетонной поверхностью, требующей окраски на строительной площадке. Значительно сокращает сроки и трудоемкость отделочных работ перенесение в заводские условия операций по подготовке и окраске поверхности стальных изделий (оконных переплетов и дверных полотен). Перенесение работ по заполнению и частичной отделке оконных проемов на заводы дает снижение трудоемкости внутренних отделочных работ на строительной площадке около 5 %. Дальнейшее повышение степени заводской готовности конструкций и перенесение отделочных работ на завод является одним из основных путей снижения их стоимости и повышения качества.

В организации отделочных работ на строительной площадке имеется значительный прогресс. При малярных работах широко практикуется отделка поточным и поточно-конвейерным метода-

ми, организована централизованная заготовка малярных составов, производство работ ведется комплексными бригадами и специализированными звеньями с применением ручного механизированного инструмента.

За последние годы все шире начинает внедряться окраска фасадов перхлорвиниловыми красочными составами. Такая окраска требует несколько больших по сравнению с известковой единовременных затрат, но более экономична в силу значительного срока службы. В перспективе и этот вид отделки будет вытесняться более долговечными и экономичными заводскими фактурами деталей в полносборном строительстве, а также лицевой кладкой при возведении кирпичных зданий.

В отечественной практике наряду с клеевыми и масляными красками все шире применяют синтетические краски водоразбавляемые, эмульсионные (латексные), эмалевые на различных смолах и др. Синтетические лаки и краски позволяют повысить долговечность отделки зданий в 1,5...2 раза, снизить затраты труда на отделочные работы и повысить защитные и декоративные свойства строительных конструкций.

В строительной практике используют до 40 разновидностей лакокрасочных покрытий. Но не все виды отделки равноценны при эксплуатации зданий, различны и их технико-экономические показатели.

Лакокрасочные покрытия должны создаваться в строгом соответствии с функциональными требованиями к отделке, практически необходимыми сроками службы. Удешевление отделки не должно происходить за счет сокращения срока службы, так же как и удорожание не оправдано без продления межремонтного периода.

Окраску стальных изделий осуществляют более современным методом электростатического окрашивания.

В результате внедрения прогрессивных решений отделки значительно улучшаются эксплуатационные качества строящихся зданий.

Введение

1. Динамика производства основных строительных материалов в СССР и их перспективное развитие в XII пятилетке и на период до 2000 года. 2. Какими слагаемыми оценивается себестоимость строительных материалов и каковы основные пути ее снижения? Что такое приведенные затраты? 3. Значение стандартизации в производстве строительных материалов и изделий. 4. Значение полного хозрасчета и самофинансирования в производстве строительных материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебный материал книги изложен на базе последних достижений науки и производства в области технологии изготовления строительных материалов и изделий, при этом рассматриваются методы дальнейшего ее совершенствования в соответствии с перспективными направлениями развития строительной техники.

Теоретические вопросы излагаются с использованием фундаментальных наук: физики, химии, механики, показаны общие закономерности формирования структуры и физико-технических свойств материалов, даются сведения об основных направлениях развития отрасли.

При изучении курса студенты приобретают навыки по усвоению физико-технических свойств каждой группы строительных материалов, в зависимости от которых определяют рациональную область их использования. Вопросы материаловедения и технологии строительных материалов тесно связаны с экономикой их производства и применения. В этой связи студент приобретает знания вопросов эффективности и качества строительных материалов, использования побочных продуктов промышленности, снижения трудовых и топливно-энергетических затрат, необходимости применения в индустриальном строительстве крупноразмерных изделий и конструкций, а также отдельных элементов полной заводской готовности. Развитие у студентов технико-экономического подхода при решении технических задач, усвоение методов технико-экономического анализа позволит лучшим образом оценить возможность и целесообразность производства и применения строительных материалов в конкретных условиях и выявить экономически эффективные направления развития предприятий строительной индустрии.

Глава 1. Основные свойства строительных материалов

1. Роль отечественной науки в изучении свойств строительных материалов. 2. Зависимость свойств материала от его структуры. 3. Местные строительные материалы. 4. Что такое истинная и средняя плотность? 5. Что такое пористость? 6. Как охарактеризовать структуру материала по интегральной и дифференциальной пористости? 7. Как изменяются свойства строительных материалов по мере их увлажнения? 8. Что такое коэффициент размягчения? 9. Как определяют морозостойкость? 10. Водонепроницаемые материалы. 11. Как зависит теплопроводность материала от его пористости, влажности, температуры? 12. На какие группы делят материалы по огнестойкости? 13. Что такое огнеупорность? 14. Что такое удельная теплоемкость и каково ее значение при выборе строительных материалов для ограждающих конструкций? 15. Как определить прочность материалов? 16. Упругие и пластические деформации. 17. Текучесть, ползучесть и релаксация напряжений. 18. Что такое истираемость и износостойкость? 19. Химическая стойкость материала и ее зависимость от состава и строения. 20. Что такое долговечность материала?

Глава 2. Природные каменные материалы и изделия

1. Приведите классификацию горных пород в зависимости от условий образования. 2. Что называют минералом? 3. Породообразующие минералы изверженных и осадочных горных пород. 4. Какими свойствами обладают кварц, полевой шпат, слюда, темноокрашенные минералы, кальцит, магнезит, гипс? 5. Перечислите горные породы, состоящие в основном из карбонатов и сульфатов кальция и магния. 6. Мергель и его применение в строительстве. 7. Для каких целей в строительстве применяют гранит, сиенит, базальт, диабаз, кварцит, диатомит, трепел, лемзу, вулканические туфы, глинистые сланцы, глину? 8. Из каких горных пород получают неорганические вяжущие вещества? Методы их разработки и переработки. 9. Добыча, переработка и обогащение нерудных и строительных материалов. 10. Типовые схемы заводов нерудных строительных материалов. 11. Какие строительные материалы и изделия получают из горных пород? 12. Какие горные породы применяют в качестве стеновых материалов? 13. Назовите, из каких горных пород получают щебень для бетона. 14. Какие горные породы используют в дорожном строительстве и для изготовления минеральной ваты? 15. Как используют отходы, получаемые при переработке камня? 16. Самофинансирование и хозрасчет на предприятиях нерудных строительных материалов. 17. Экономика производства и применения природных каменных материалов и изделий?

Глава 3. Керамические материалы и изделия

1. Характеристика сырьевых материалов. 2. Как образуются глины для керамических изделий? Химический состав глин и влияние отдельных оксидов (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 и др.) на свойства глин. Как определяют огнеупорность глин? 3. Пластичность глин. 4. Сушка и обжиг глин. Что такое спекание? 5. Какие добавки вводят в глину при производстве керамики и как они влияют на свойства изделий? 6. Керамические материалы с плотным и пористым черепком.

Из каких глин изготавливают плотные и пористые изделия? 7. Процесс изготовления полнотелого и пустотелого кирпича полусухим и пластическим способами. Преимущества полусухого способа. 8. Принципиальная схема производства керамических изделий и физико-химические процессы, происходящие при превращении сырья в искусственный камень. 9. Классификация керамических материалов и изделий по их значению. 10. Основные направления современного развития керамической промышленности. 11. Виды и основы технологии производства облицовочных материалов. 12. Индустриальные стеновые изделия из кирпича и керамических камней. 13. Керамические материалы для наружной и внутренней облицовки. 14. Какие огнеупорные изделия вы знаете? 15. Виды черепицы, достоинства и недостатки ее. 16. В чем преимущество керамических труб по сравнению с металлическими? Для каких целей применяют керамические трубы? 17. Виды и особенности производства изделий санитарно-технической керамики. 18. Керамзит и его применение. 19. Расскажите о керамике высшей огнеупорности. 20. В чем преимущество керамических стеновых блоков и панелей по сравнению с обычным кирпичом и как их изготавливают? 21. Экономическая эффективность производства и применения керамических материалов.

Глава 4. Материалы и изделия из минеральных расплавов

1. Характеристика сырьевых материалов для изготовления стекла. 2. Как влияет состав сырьевых материалов на свойства стекла? 3. Основы технологии обычного оконного стекла. 4. Какие строительные изделия и материалы изготавливают из стекломассы? 5. Назовите новые виды листового стекла и расскажите об их применении. 6. Что такое каменное литье? Каковы технические свойства изделий из плавленого камня? 7. Ситаллы и шлакоситаллы. 8. Пено- и газостекло. 9. Получение и применение термозита. 10. Основные стадии производства стекловаты, шлаковаты, минеральной ваты. Применение. 11. Изготовление и применение стекловолна. 12. Эффективность производства изделий из минеральных расплавов и пути снижения себестоимости продукции.

Глава 5. Минеральные вяжущие вещества

1. Развитие цементной промышленности и рост выпуска цемента в СССР. 2. Пути дальнейшего развития производства цемента и других минеральных вяжущих. 3. Определение, классификация и применение неорганических вяжущих веществ. 4. Получение и применение воздушной извести. 5. Получение и применение гидравлической извести. Чем отличается гидравлическая известь от воздушной? 6. Какую известь называют «кипелкой» и какую «пушонкой»? 7. Назовите низкообжиговые и высокообжиговые гипсовые вяжущие. 8. Производство, свойства и применение строительного и высокопрочного гипса. 9. Как получают ангидритовый цемент и эстрих-гипс? 10. Производство, свойства и применение магнезиальных вяжущих. 11. Что представляет собой жидкое (растворимое) стекло и для каких целей его применяют в строительстве? 12. Изготовление и применение кислотоупорного цемента. 13. Гидравлические вещества и их способность твердеть во влажных условиях. 14. Напишите химический состав сырья для производства портландцемента. 15. Основные этапы производства портландцемента по мокрому, сухому и полусухому способам. Роль реактора-декарбонизатора в эффективности производства цемента по сухому способу. 16. Какие процессы происходят в цементных печах? 17. Каков химико-минералогический состав портландцемента, алитового, белитового, целитового портландцементов? Свойства портландцемента. 18. Что такое клинкер? 19. Зачем при помоле клинкера вводят добавку гипса? 20. Какие добавки называют активными гидравлическими и как они влияют на стойкость цемента в воде? 21. Получение, свойства и применение гидрофобных и пластифицированных портландцементов. 22. Как определяют марку портландцемента? Какие марки портландцементов вы знаете? 23. Сущность обобщенной теории твердения портландцемента и других неорганических вяжущих веществ, созданной А. А. Байковым. 24. Получение, свойства и применение пуццоланового портландцемента и шлакопортландцемента. 25. Виды коррозии цементного камня с приведением химических реакций. 26. Меры за-

щиты от коррозии. 27. Глиноземистый цемент: производство, свойства, применение. 28. Портландцементы: сульфатостойкий, с умеренной экзотермией, дорожный, белый, цветные. Области их применения. 29. Что такое БТЦ и ОБТЦ и в каких условиях их целесообразно применять? 30. Расширяющиеся цементы и портландцементы. 31. Экономика производства цемента и пути снижения его себестоимости.

Глава 6. Бетоны

1. Что такое бетон и из каких материалов его изготавливают? 2. Классификация бетонов по виду вяжущего и назначению. 3. Какие требования предъявляются к качеству мелкого и крупного заполнителей для бетона? Вода и добавки к бетонам. 4. Свойства бетонной смеси. 5. Как определяется класс бетона? 6. Напишите формулы прочности цементного бетона и объясните их. 7. Изложите один из методов проектирования состава тяжелого бетона по заданной прочности (класс бетона) и подвижности или жесткости бетонной смеси. 8. Определение подвижности и жесткости бетонной смеси. 9. Приготовление бетонной смеси. 10. Какие бетоносмесители вы знаете? 11. Как уплотняют бетонные смеси? 12. Как ускоряют твердение бетонных и железобетонных изделий? 13. Способы зимнего бетонирования. 14. Коррозия бетона и способы защиты от коррозии. 15. Особенности получения специальных видов тяжелых бетонов, их свойства и области применения? 16. В чем эффективность легких бетонов по сравнению с тяжелыми? 17. Материалы для легких бетонов и особенности проектирования состава их. 18. Из каких материалов изготавливают пенобетон, пелосиликат, газобетон, газосиликат? Этапы технологии их производства. 19. Как осуществить экономию цемента в бетоне при проектировании его состава и при приготовлении? 20. Что такое товарный бетон и в чем его преимущество? 21. Как и для каких целей определяют коэффициент выхода бетонной смеси?

Глава 7. Строительные растворы

1. Отличие строительного раствора от бетона. 2. Классификация и свойства строительных растворов. 3. Как определяется консистенция растворов? 4. Какие добавки повышают пластичность растворов и улучшают водоудерживающую способность их? 5. Простые, сложные и специальные растворы. 6. Как проектируют состав растворов? 7. Как определяют марку раствора? 8. Из каких материалов изготавливают декоративные штукатурки? 9. Как повысить водостойкость штукатурных растворов? 10. Как готовят строительные растворы на заводе?

Глава 8. Искусственные каменные изделия на основе минеральных вяжущих

1. Из каких материалов изготавливают гипсовые и гипсобетонные изделия? 2. Способы производства гипсобетонных панелей, вентиляционных блоков и гипсокартонных листов. 3. Экономика производства и применения гипсобетонных изделий. 4. Какое гипсовое вяжущее можно считать водостойким и какие изделия изготавливают на его основе? 5. Технология изготовления силикатного кирпича. 6. Свойства и область применения силикатного кирпича. 7. Автоклавная обработка силикатных силикатобетонных изделий. 8. Характеристика исходных материалов и технология изготовления крупноразмерных изделий из силикатного бетона. 9. Способы производства ячеистых силикатных изделий. 10. Основные пути снижения себестоимости производства изделий из силикатного бетона. 11. Изделия на основе магнезиальных вяжущих веществ. 12. Изделия на основе асбестоцементных вяжущих. 13. Способы производства асбестоцементных труб. 14. Как изготавливают асбестоцементные трубы? 15. Технико-экономическая эффективность изделий из асбестоцемента.

Глава 9. Металлические материалы и изделия

1. Как получают чугун и сталь? 2. Назовите предельное содержание углерода в чугуне и стали. 3. Какие марки стали и чугуна применяют в строительстве?

4. Назовите виды стальной арматуры для железобетона. 5. Методы сварки металлов. 6. Какие профили строительных сталей изготавливают прокаткой и штамповкой? 7. Виды коррозии и меры защиты от нее. 8. Какими способами упрочняют сталь? 9. Какие конструкции изготавливают из чугуна и стали? 10. Какие сплавы цветных металлов применяют в строительстве?

Глава 10. Железобетонные изделия

Глава 11. Производство железобетонных изделий

1. Что такое железобетон? Какую роль играет арматура в железобетоне? 2. Достоинства и недостатки железобетона. 3. Сборный и монолитный железобетон. 4. Виды сборных железобетонных изделий, применяемых в жилищном, гражданском и промышленном строительстве. 5. Основные направления развития сборного железобетона и пути снижения его себестоимости? 6. Из каких основных операций состоит процесс изготовления сборных железобетонных изделий? 7. Способы производства сборных железобетонных изделий. Их достоинства и недостатки. 8. Какие способы уплотнения железобетонных изделий вы знаете? 9. Как ускоряют твердение железобетона? 10. Способы зимнего бетонирования. 11. Что такое предварительно напряженный железобетон и в чем его преимущества по сравнению с обычным железобетоном? 12. Способы предварительного натяжения арматуры? 13. Общие вопросы организации формования железобетонных изделий. 14. Сущность тепловлажностной обработки бетона и железобетона? 15. Виды декоративной отделки изделий. 16. Контроль качества сборного железобетона. 17. Способы армирования железобетонных конструкций. 18. В чем преимущества сооружений из объемных железобетонных элементов заводского изготовления?

Глава 12. Лесные материалы

1. Строение дерева. Микро- и макроструктура древесины. 2. Свойства и применение основных древесных пород. 3. Ядровые, заболонные и спелодревесные породы. 4. Положительные и отрицательные свойства древесины как строительного материала. 5. Как влияет влажность на свойства древесины? 6. В каком виде находится влага в древесине? 7. Что называется точкой насыщения волокон и в каких пределах колеблется ее величина для различных пород древесины? 8. Какие материалы имеют воздушно-сухую влажность? Какова влажность свежесрубленной древесины? 9. Как определяют предел прочности древесины? 10. Пороки древесины и их влияние на свойства древесины. 11. Применение древесины в строительстве. 12. Пути экономии древесины. 13. Защита древесины от гниения, возгорания и от повреждения насекомыми. 14. Естественная и искусственная сушка строительных материалов. 15. Сортамент лесных материалов. 16. Какие сборные детали и конструкции из древесины применяют в строительстве? 17. Эффективность применения изделий и конструкций из древесины.

Глава 13. Теплоизоляционные и акустические материалы и изделия

1. Структура и свойства теплоизоляционных материалов. 2. По каким признакам классифицируют теплоизоляционные материалы? 3. Строительные свойства органических и неорганических теплоизоляционных материалов. 4. Какие теплоизоляционные материалы применяют для изоляции горячих поверхностей? 5. Из какого сырья и как изготавливают минеральную, стеклянную и шлаковую вату? 6. Изделия из минеральной и стеклянной ваты. 7. Как изготавливают пеностекло? 8. Назовите монтажные теплоизоляционные материалы. 9. Фибролит и его применение. 10. В чем состоит технико-экономическая эффективность применения теплоизоляционных материалов? 11. Какие керамические материалы применяют для изоляции горячих поверхностей? 12. Изготовление пенопластов и их преимущества по сравнению с другими теплоизоляционными материалами? 13. Акустические материалы. Основные виды и свойства звукопоглощающих и звукоизоляционных материалов.

Глава 14. Органические вяжущие и материалы на их основе

1. В каком виде встречается битум в природе и как его добывают? 2. Виды нефтяных битумов по способу производства. 3. Свойства и марки битумов. 4. Для каких целей применяют битум в строительстве? 5. Групповой состав битумов. 6. Разжижители битумов. 7. Технология производства асфальтобетона. 8. Роль минерального порошка в асфальтовых бетонах и растворах. 9. Классификация асфальбетонов, температуры смеси в момент приготовления и укладки. 10. Свойства асфальтовых бетонов. 11. Свойства и получение дегтей. 12. Пек и его применение в строительстве. 13. Из каких материалов изготавливают дегтебетон? 14. Изготовление и применение рубероида, толи, пергамин, стеклорубероида. 15. Важнейшие гидроизоляционные материалы. 16. Изготовление и применение битумных и дегтевых эмульсий и паст. 17. Изготовление и применение битумных и дегтевых мастик. 18. Основные герметизирующие материалы. 19. Экономика производства и применения кровельных и гидроизоляционных материалов.

Глава 15. Пластмассы. Материалы и изделия на их основе

1. Что называют полимером? 2. Из какого сырья получают полимеры? Какие полимеры называют термопластичными и термореактивными? 3. Что называют пластмассой и из каких компонентов ее изготавливают? 4. Свойства пластмасс. 5. Способы производства изделий из пластмасс. 6. Виды и изготовление линолеума. 7. Релин и его применение. 8. Полимерные материалы для отделки стен. 9. Для каких целей применяют полиэтилен, поливинилхлорид, поливинилацетат, полиметилметакрилат, фенолоформальдегидные, мочевиноформальдегидные, полиэфирные полимеры? 10. Тепло- и звукоизоляционные материалы. 11. Материалы для покрытия полов (рулонные и плиточные). 12. Материалы для внутренней отделки стен (рулонные и листовые). 13. Стеклопластики. 14. Материалы из древесины с применением полимеров. 15. Классификация пластмасс по их назначению. 16. Что такое погонажные изделия, из каких материалов и как их изготавливают? 17. Виды пластмассовых труб. Их преимущества и недостатки. 18. Клей и мастики на основе полимеров. 19. Технико-экономическая целесообразность применения пластмасс в строительстве.

Глава 16. Лакокрасочные материалы и обои

1. Составы и применение лакокрасочных материалов. 2. Компоненты красочных составов. 3. Пигменты и их свойства. 4. Естественные и искусственные минеральные пигменты. 5. Что служит связующим в масляных, эмалевых, клеевых, силикатных и эмульсионных красках? 6. Растворители и разбавители красочных составов. 7. Что такое укрывистость, маслосъемкость и светостойкость пигмента? 8. Натуральные, полунатуральные и искусственные олифы. Их свойства и области применения. 9. Водоразбавляемые и летучесмоляные красочные составы на минеральной основе. 10. Эффективность применения известковых, силикатных и цементных покрытий. Полимерцементные и эмульсионные краски. 11. Как изготавливают лаки? 12. Что такое масляные лаки? 13. Лаки. Их изготовление и применение. 14. Какие клеи применяют в качестве связующих в красках и каковы их свойства? 15. Чем отличаются эмали от лаков? 16. Для каких целей применяют асфальтовые и пековые лаки?

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXVII съезда КПСС. М., 1986.
2. Горбачев М. С. Коренной вопрос экономической политики партии. Доклад на совещании в ЦК КПСС по вопросам ускорения научно-технического прогресса. 14 июня 1985 г., М., 1985.
3. Баженов Ю. М. Технология бетона. М., 1987.
4. Баженов П. И. Технология автоклавных материалов. Л., 1978.
5. Болдырев А. С., Добужинский В. И., Рекитар Я. А. Технический прогресс в промышленности строительных материалов. М., 1980.
6. Бурлаков Г. С. Технология изделий из легкого бетона. М., 1986.
7. Бутт Ю. М., Сычев М. М., Тимашев В. В. Химическая технология вяжущих материалов. М., 1980.
8. Баженов Ю. М., Комар А. Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. М., 1984.
9. Воробьев В. А., Комар А. Г. Строительные материалы. М., 1976.
10. Воробьев В. А., Андрианов Р. А. Технология полимеров. М., 1980.
11. Горбушин П. Б., Рекитар Я. А. Экономика промышленности строительных конструкций и материалов. М., 1969.
12. Горчаков Г. И., Баженов Ю. М. Строительные материалы. М., 1986.
13. Горчаков Г. И., Мурадов Э. Г. Основы стандартизации и контроля качества продукции. М., 1977.
14. Горлов Ю. П., Меркин А. П., Устенко А. А. Технология теплоизоляционных материалов. М., 1980.
15. Горшков В. С., Тимашев В. В., Савельев В. Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М., 1981.
16. Домокеев А. Г. Строительные материалы. М., 1982.
17. Иванов И. А. Технология легких бетонов на искусственных пористых заполнителях. М., 1974.
18. Комар А. Г., Баженов Ю. М., Сулименко Л. М. Технология производства строительных материалов. М., 1984.
19. Малинина Л. А. Тепловлажностная обработка тяжелого бетона. М., 1977.
20. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты/В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев. М., 1980.
21. Михайлов К. В. Проволочная арматура для предварительного напряжения железобетона. М., 1964.
22. Ратинов В. Б., Иванов Ф. М. Химия в строительстве. М., 1977.
23. Сулименко Л. М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе. М., 1983.

24. Рекитар Я. А. Эффективность и перспективы применения прогрессивных материалов в строительстве. М., 1978.
25. Рекитар Я. А. Экономика производства и применения строительных материалов. М., 1972.
26. Рояк С. М., Рояк Г. С. Специальные цементы. М., 1983.
27. Общий курс строительных материалов/Под ред. И. А. Рыбьева. М., 1987.
28. Технология изделий из силикатных бетонов/Под общей ред. А. В. Саталкина. М., 1972.
29. Технология металлов и сварка/П. И. Полухин и др. М., 1977.
30. Шейкин А. Е. Строительные материалы. М., 1978.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Автоклав 268, 369
Алит 143
Андезит 38
Антипирены 394
Антисептики 392
Арболит 422
Арматура для железобетона 311
Асбест 286, 418
Асбестоцемент 281

Базальт 38
Белит 143
Бетон 182
— асфальтовый 442
— высокопрочный 221
— дегтевый 442
— декоративный 224
— дорожный 224, 441
— жаростойкий 223
— кислотоупорный 222
— легкий 225
— мелкозернистый 222
— полимерно-цементный 480
— силикатный 271
— тяжелый 182
— ячеистый 23

Бетонирование в зимних условиях 220
Бетонополимер 480
Бетоносмесители 208
Биотит 34
Битумы 435, 436
Блоки стеклянные 107

Вата минеральная 410
— стеклянная 111, 413
— шлаковая 115
Вермикулит вспученный 417
Вибрирование 213
Виброплощадка 344
Воздухостойкость 19
Водопоглощение 18
Водопроницаемость 216
Водопотребность 161
Ворсолин 468
Вязущие глисовые 123
— автоклавного твердения 123
— гипсоцементно-пуццолановые 174
— магнезиальные 131

Габбро 37
Газобетон 236
Газосиликат 275
Газостекло 111
Герметики 457
Гипс (природный) 39, 123
— высокопрочный 127
— формовочный 127
Гипсобетон 252
Глины 62
Гнейсы 41
Гравий 41, 192
Граниты 32, 36
Грибы домовые 390

Деготь 440
Диабаз 38
Диориты 37
Добавки активные минеральные 165,
166, 167, 187, 188
Долговечность 24
Доломит 39

Закалка 308

Железобетон предварительно напря-
женный 346
Жесткость бетонной смеси 197

Известняк 40
Известь воздушная 134
— гидравлическая 141
— молотая негашеная 136
Изделия асбестоцементные 281
— гипсобетонные 252
Изделия железобетонные 325, 328
— — армирование 346
— из древесины 396
— керамические 37
— огнеупорные 90
— погонные 88
Камень бутовый 49
— керамический 69, 74, 75
— пиленный 49
— стеновой 74, 75
— тесаный 49

Каолины 62
Камера пропарочная 365
Кварц 34
Кварциты 42
Керамика 78, 79
Керамзит 42
Кирпич керамический
— лицевой 77
— силикатный 267
Клинкер цементный 143
Контроль качества бетона 371
Конус стандартный 198
Коррозия 162, 219, 322
Клей 490, 502
Краски 499, 505
— масляные 503
— полимерцементные 506
— силикатные 505
— цементные 506
— эмалевые 504
— эмульсионные (латексные) 506
Лабрадорит 37
Лаки 504, 505
Линолеум 462
Литье каменное 112
Лесоматериалы круглые 396

Магнезит 39
Мастики 452, 457, 472, 490
Материалы акустические 425
— герметизирующие 493
— конструкционные 481
Материалы теплоизоляционные 406
Мел 40
Металлы черные 300
— цветные 301, 319
Морозостойкость 164, 217
Мрамор 42
Мусковит 35

Наполнители 460
Натяжение арматуры механическое 352
— — электротермическое 353

Обжиг изделий 63, 67, 71
Обон 509
Обработка термическая стали 308
Огнестойкость 22
Огнеупоры 90
Олифы 500
Отношение водоцементное 206

Панели 76
Пасты 451
Паркет 397
Пек 441

Пемза вулканическая 38
— шлаковая 38
Пенопласты 484
Пеностекло 111
Пергамин 448
Перлит 415
Песок 41, 188
Песчаник 41
Пиломатериалы 496
Пластификаторы 460
Пластичность глины 62
Пластмассы 459
Плиты асбестоцементные 283
— древесно-волоконистые 471
— древесностружечные 477
— минераловатные 114
— цементно-фибритовые 42
Плитки керамические 87
— глазурованные 80
— для полов 82
— пластмассовые 469
Ползучесть бетона 218
Полимербетоны 480
Полимеры 462
Пористость 15
Породы горные 31
Порфиры 37
Поропласт 424
Пороки древесины 388
Портландцемент 142
Приготовление бетонной смеси 213
Проектирование свойств бетона 205
Прокат металла 309
Прочность бетона 201
— цемента 158
Пудра алюминиевая 236
Пустотность 17
Растворы строительные 242
Реология 197
Рубероид 445

Сварка металлов 314
Свойства битумов 436
Сиениты 36
Сиккатив 502
Ситаллы 116
Сланцы 41
Слюда 34
Смесь бетонная 197
Совелит 419
Сотопласты 483
Спекание глины 64
Сталь 305
Стан двухъярусный 363
Стекло 103
— армированное 105
— витринное 110
— вулканическое 32
— жидкое 132
— закаленное 108

§ 4.3.	Материалы и изделия из каменного литья	112
§ 4.4.	Материалы и изделия из шлаковых расплавов	113
§ 4.5.	Ситаллы и шлакоситаллы	116
§ 4.6.	Экономика производства материалов и изделий из минеральных расплавов	118
Глава 5.	МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА	123
5.A.	Воздушные вяжущие вещества	123
§ 5.1.	Гипсовые вяжущие вещества	123
§ 5.2.	Свойства и применение низкообжиговых гипсовых вяжущих веществ	127
§ 5.3.	Ангидритовые вяжущие вещества	129
§ 5.4.	Экономика производства гипсовых вяжущих веществ	130
§ 5.5.	Магнезиальные вяжущие вещества	131
§ 5.6.	Кислотоупорные цементы	132
§ 5.7.	Строительная известь	133
§ 5.8.	Экономика производства извести	138
5.B.	Гидравлические вяжущие вещества	141
§ 5.9.	Гидравлическая известь	141
§ 5.10.	Портландцемент	142
§ 5.11.	Добавки для цементов	165
§ 5.12.	Портландцемент с органическими добавками	166
§ 5.13.	Специальные виды цемента	167
§ 5.14.	Цементы с минеральными добавками	169
§ 5.15.	Шлаковые цементы	171
§ 5.16.	Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие	174
§ 5.17.	Глиноземистый цемент	176
§ 5.18.	Расширяющийся цемент	177
§ 5.19.	Экономика производства цемента	178
Глава 6.	БЕТОНЫ	182
§ 6.1.	Классификация бетонов и требования к нему	182
§ 6.2.	Материалы для тяжелого бетона	184
§ 6.3.	Свойства бетонной смеси и бетона	197
§ 6.4.	Проектирование состава бетона	205
§ 6.5.	Приготовление и транспортирование бетонной смеси	208
§ 6.6.	Укладка бетонной смеси. Уход за бетоном и контроль качества	213
§ 6.7.	Особые свойства бетона	216
§ 6.8.	Особенности бетонирования в зимнее время	220
§ 6.9.	Специальные виды тяжелых бетонов	221
§ 6.10.	Легкие бетоны	225
§ 6.11.	Материалы для легких бетонов	228
§ 6.12.	Основы проектирования состава легких бетонов	231
§ 6.13.	Ячеистые бетоны	233
§ 6.14.	Экономика производства и применении легких бетонов	238
Глава 7.	СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ	242
§ 7.1.	Классификация строительных растворов	242
§ 7.2.	Свойства строительных растворов	243
§ 7.3.	Растворы для каменной кладки	245
§ 7.4.	Отделочные растворы	247
§ 7.5.	Специальные растворы	248
§ 7.6.	Приготовление строительных растворов	250

Глава 8.	ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ	252
8.A.	Гипсовые и гипсобетонные изделия	252
§ 8.1.	Общие сведения о гипсовых и гипсобетонных изделиях	252
§ 8.2.	Гипсобетонные панели для перегородок	253
§ 8.3.	Гипсовые плиты для перегородок	256
§ 8.4.	Гипсовые вентиляционные блоки	258
§ 8.5.	Гипсокартонные листы	259
§ 8.6.	Экономика производства и применения гипсобетонных изделий	260
8.B.	Изделия на основе извести	266
§ 8.7.	Силикатный кирпич	267
§ 8.8.	Известково-шлаковый и известково-золенный кирпич	270
§ 8.9.	Крупноразмерные изделия из силикатного бетона	271
§ 8.10.	Ячеистые силикатные изделия	275
§ 8.11.	Экономика производства и применении изделий из силикатного бетона	278
8.B.	Асбестоцементные изделия	281
§ 8.12.	Общие сведения и классификация асбестоцементных изделий	282
§ 8.13.	Материалы для производства асбестоцементных изделий	285
§ 8.14.	Производство асбестоцементных изделий	288
§ 8.15.	Цветные асбестоцементные изделия	295
§ 8.16.	Основные свойства асбестоцементных изделий	296
§ 8.17.	Экономика производства асбестоцементных изделий	296
Глава 9.	МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	300
§ 9.1.	Общие сведения о металлах и сплавах	300
§ 9.2.	Черные металлы и стали	304
§ 9.3.	Термическая обработка стали	308
§ 9.4.	Производство металлических изделий и конструкций	309
§ 9.5.	Стальная арматура для железобетона	311
§ 9.6.	Сварка металлов	314
§ 9.7.	Цветные металлы и их сплавы	318
§ 9.8.	Коррозия металлов и меры защиты от нее	322
§ 9.9.	Технико-экономическое обоснование применении металлических конструкций	323
Глава 10.	ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ	325
§ 10.1.	Общие сведения и классификация железобетона	326
§ 10.2.	Номенклатура и технико-экономическая оценка железобетонных изделий	328
Глава 11.	ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ	340
§ 11.1.	Способы уплотнения бетонной смеси	341
§ 11.2.	Армирование железобетонных изделий	346
§ 11.3.	Формование железобетонных изделий	354
§ 11.4.	Твердение железобетонных изделий	364
§ 11.5.	Отделка поверхности железобетонных изделий	370
§ 11.6.	Приемка и испытание железобетонных изделий	371
§ 11.7.	Экономика производства железобетонных изделий	372
Глава 12.	ЛЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	380
12.A.	Древесиноведение	380
§ 12.1.	Строение дерева	380

§ 12.2. Свойства древесины	384
§ 12.3. Пороки древесины	388
§ 12.4. Предохранение древесины от разрушения и возгорания	391
§ 12.5. Породы древесины и их применение в строительстве	394
§ 12.6. Хранение и сушка лесных материалов	396
§ 12.6. Материалы, изделия и конструкции из древесины	396
§ 12.7. Лесоматериалы круглые и пиломатериалы	396
§ 12.8. Заготовки из древесины хвойных и лиственных пород	397
§ 12.9. Фанера и материалы для кровель временных зданий	399
§ 12.10. Столярные изделия	400
§ 12.11. Конструкции из древесины	402
§ 12.12. Приемка, транспортирование и хранение	403
§ 12.13. Экономика применения материалов и изделий из древесины	403
Глава 13. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	406
13.А. Теплоизоляционные материалы и изделия	406
§ 13.1. Структура и свойства теплоизоляционных материалов	406
§ 13.2. Классификация теплоизоляционных материалов	408
§ 13.3. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия	410
§ 13.4. Органические теплоизоляционные материалы и изделия	420
13.Б. Акустические материалы и изделия	425
§ 13.5. Звукоизоляционные материалы и изделия	426
§ 13.6. Звукопоглощающие материалы и изделия	428
§ 13.7. Экономика применения теплоизоляционных материалов и изделий	432
Глава 14. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ И МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ	435
14.А. Битумные и дегтевые вяжущие и бетоны на их основе	435
§ 14.1. Битумы	435
§ 14.2. Дегти	440
§ 14.3. Асфальтовые и дегтевые бетоны	442
14.Б. Рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы	444
§ 14.4. Рулонные материалы	445
§ 14.5. Эмульсии и пасты	450
§ 14.6. Мастики	452
§ 14.7. Штучные изделия	456
§ 14.8. Герметизирующие материалы	457
§ 14.9. Экономика производства и применения кровельных и гидроизоляционных материалов	458
Глава 15. ПЛАСТМАССЫ. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ИХ ОСНОВЕ	459
15.А. Пластмассы	459
§ 15.1. Классификация пластмасс	459
§ 15.2. Основные свойства пластмасс	461
§ 15.3. Полимеры	462
15.Б. Строительные материалы и изделия на основе пластмасс	462
§ 15.4. Материалы для покрытия полов	463
§ 15.5. Материалы для внутренней отделки стен	473
§ 15.6. Полимербетоны и полимерцементные бетоны	480
§ 15.7. Конструкционные материалы	481
§ 15.8. Погонажные изделия на основе полимеров	487

§ 15.9. Трубы и санитарно-технические изделия	488
§ 15.10. Клей и мастики	490
§ 15.11. Экономика применения пластмасс в строительстве	494
Глава 16. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ОБОИ	498
§ 16.1. Пигменты и наполнители	498
§ 16.2. Связующие вещества	500
§ 16.3. Красочные составы	503
§ 16.4. Вспомогательные материалы	508
§ 16.5. Обои бумажные	509
§ 16.6. Экономика применения лакокрасочных материалов	510
Заключение	512
Вопросы для самопроверки	513
Литература	518
Предметный указатель	520

ББК 38.3
К63
УДК 691

Рецензент

кафедра строительных материалов Московского инженерно-строительного
института им. В. В. Куйбышева (зав. кафедрой — д-р техн. наук,
проф. Г. И. Горчаков)

Комар А. Г.

К63 Строительные материалы и изделия: Учеб. для инж.-
экон. спец. строит. вузов. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.:
Высш. шк., 1988. — 527 с.: ил.
ISBN 5—06—001250—6

В учебнике более широко, чем в предыдущих изданиях (4-е издание вышло
в 1983 г.), рассмотрена номенклатура важнейших групп строительных материа-
лов, освещены теоретические основы технологии производства вяжущих материа-
лов, сборных железобетонных, асбестоцементных и керамических материалов,
изделий на основе полимеров и др.

Дан сравнительный технико-экономический анализ эффективности произ-
водства и применения важнейших материалов и изделий.

К 3203000000 (4309000000) — 225
001(01) — 88 184 — 88

ББК 38.3
6С3

ISBN 5—06—001250—6

© Издательство «Высшая школа», 1976
© Издательство «Высшая школа», 1988,
с изменениями

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий учебник составлен в соответствии с учебной программой курса
«Строительные материалы и изделия» для специальности «Экономика и управ-
ление в строительстве» высших учебных заведений, утвержденной Учебно-ме-
тодическим управлением по высшему образованию Минвуза СССР.

В книге даются научные основы строительного материаловедения во взаимо-
связи с данными прикладного характера, касающимися технологии производ-
ства строительных материалов, изделий и конструкций. Теоретические вопросы
излагаются с использованием фундаментальных наук — физики, химии, меха-
ники.

Построение учебника обусловлено программой курса и принятой классифика-
цией. Каждая глава объединяет определенную группу материалов, что позволяет
выявить общие закономерности формирования их структуры и физико-техниче-
ских свойств. В учебнике даются сведения об основных направлениях развития
отрасли в соответствии с решениями XXVII съезда КПСС. Особое внимание
уделено вопросам эффективности и качества строительных материалов, использо-
ванию побочных продуктов промышленности, снижению трудовых и топливно-
энергетических затрат, показана необходимость применения в индустриальном
строительстве крупноразмерных изделий и конструкций, а также объемных
элементов полной заводской готовности.

В учебнике вопросы материаловедения и технологии строительных матери-
алов рассматриваются в тесной связи с экономикой их производства и исполь-
зования с целью развития у студентов и специалистов экономического подхода
при изучении столь важной области народного хозяйства, каковой является
производство строительных материалов и изделий. Вопросы экономического
характера — технико-экономический анализ отдельных технологических схем и
пути дальнейшего развития производства строительных материалов — даны в
доступной для студентов форме, отвечающей современному состоянию и перспек-
тивам развития отдельных отраслей промышленности строительных материалов.
Определенный акцент сделан также на методах технико-экономического анализа
для определения оптимальных видов строительных материалов, наиболее раци-
ональных в конкретных условиях службы зданий и сооружений.

Настоящее, пятое, издание учебника отличается от предыдущего сведениями
о последних достижениях науки и техники. В частности, в книге на современном
научном уровне изложена связь внутреннего строения и свойств твердых тел,
показано влияние структуры на физико-технические свойства материала.
Во всех разделах освещены новые технологии в производстве строительных
материалов и изделий и основные направления их совершенствования. Например,
в цементной промышленности предусматривается развитие сухого способа про-
изводства цемента в печах, оборудованных циклонными теплообменниками.

Промышленность строительных материалов непрерывно развивается,
расширяется ассортимент изделий, внедряются новые методы оптимизации техно-
логии, поэтому студентам наряду с работой над учебником следует пользоваться
новейшей литературой — монографиями и журналами.

В написании учебника (гл. 6 и 7) принимал участие канд. техн. наук
А. А. Комар.

Автор выражает глубокую благодарность коллективу кафедры строительных
материалов Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбы-
шева (зав. кафедрой — д-р техн. наук, проф. Г. И. Горчаков) за ценные замеча-
ния, сделанные при рецензировании рукописи.

Автор